AgriFlux (manuel d'usager)
Logiciel d'évaluation des pertes en composés azotés vers les eaux souterraines et superficielles

Banton, Larocque, Surateau, Villeneuve
INRS-Eau, Septembre 1993

Projet PARDE-Fumier-89-2
Dossier No 3333.13.90.04
Ministère de l'Environnement du Québec
Direction de la recherche et des technologies environnementales
2360, chemin Ste-Foy, Sainte-Foy, Québec, G1V 4H2

Evaluation des pertes de composés azotés dans les eaux souterraines lors de l'épandage des fumiers et lisiers Développement d'un outil d'évaluation

Logiciel AgriFlux

Manuel d'usager

par

Olivier Banton
Marie Larocque
Fabienne Surateau
Jean-Pierre Villeneuve

Septembre 1993

Institut National de la Recherche Scientifique, INRS-Eau
2800, Einstein, CP 7500, Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7

Rapport Scientifique INRS-Eau No R-380

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

1. INTRODUCTION

Devant le problème sans cesse croissant de la contamination par les fertilisants agricoles des eaux tant superficielles que souterraines, les modèles simulant le transport des formes azotés dans le sol et à sa surface sont des outils d'intervention privilégiés. De tels modèles existent et sont utilisés principalement en recherche pour la compréhension des processus et de leurs interactions. Toutefois, les intervenants du milieu agricole et de celui de l'environnement ont besoin d'un outil qui soit performant tout en étant facile d'utilisation et applicable dans un contexte de gestion des fertilisants. C'est dans cet optique que le modèle AgriFlux a été développé pour le compte du Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ).

AgriFlux est un modèle simulant le cycle et le transport de l'azote dans le sol. C'est un modèle mécanistique et stochastique, c'est-à-dire qu'il est basé sur une représentation physique des processus tout en incorporant la variation stochastique des paramètres. Il s'agit d'un modèle unidimensionnel à compartiments qui simule le déplacement de l'eau et des différentes formes azotées avec un pas de temps journalier. AgriFlux (1.0) est actuellement composé de deux modules principaux, soit le module HydriFlux, qui simule le transport de l'eau (précipitations, ruissellement, infiltration, prélèvement d'eau par la culture, évaporation, percolation et drainage), et le module NitriFlux, qui simule le cycle et le transport de l'azote (amendements, ruissellement, minéralisation, immobilisation, nitrification, dénitrification, prélèvement d'azote par la culture et lessivage). Cette structure en fait un modèle très flexible auquel d'autres modules pourront venir se rattacher pour compléter la simulation des différents flux au niveau de la parcelle. AgriFlux a été conçu comme un outil de gestion des fertilisants applicable au contexte du Québec. Une attention particulière a été portée à la minimisation du nombre de paramètres requis. De plus, puisqu'il a été développé dans l'environnement Windows, son interface permettant la saisie des données et la visualisation des résultats est particulièrement convivial.

2. INFORMATION GÉNÉRALE

2.1 Fiche signalétique du modèle AgriFlux

Nom:	**AgriFlux** Logiciel d'évaluation des risques de contamination des eaux superficielles et souterraines reliés à l'épandage au champ des fumiers et lisiers.
Langage de programmation:	Microsoft QuickC pour Windows
Compatibilité:	IBM 386 ou 486 et compatibles (le modèle peut tourner sur tout ordinateur où est installé Windows; une souris est aussi nécessaire à l'exécution)
Mémoire requise:	Les fichiers (2) requis pour exécuter AgriFlux contiennent 450K d'information. Les fichiers exemples fournis sur la disquette contiennent 300K d'information. AgriFlux requiert un minimum de 4000K de mémoire vive.
Conception:	Olivier Banton Marie Larocque Fabienne Surateau
Programmation:	Fabienne Surateau Marie Larocque

2.2 Acquisition du logiciel

Une copie du logiciel et du manuel d'utilisation sont disponibles à l'adresse suivante:

a/s Dr. Olivier Banton
Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique
INRS-Eau, C.P. 7500, Sainte-Foy, Québec
G1V 4C7, Canada
tél: (418) 654-2589, fax: (418) 654-2600

2.3 Avertissement à l'utilisateur

L'utilisateur du logiciel AgriFlux est seul responsable de l'utilisation du logiciel, de ses résultats, de leur interprétation et de leurs conséquences.

3. MODÈLE AGRIFLUX

3.1 Structure du modèle AgriFlux

Le logiciel AgriFlux est conçu de façon modulaire, ce qui permet une grande flexibilité d'utilisation. Cette structure permettra éventuellement de compléter les processus considérés dans le modèle par l'ajout d'autres modules (comme un module PestiFlux qui simulerait le devenir des pesticides en milieu agricole). La Figure 1 illustre l'organigramme d'AgriFlux.

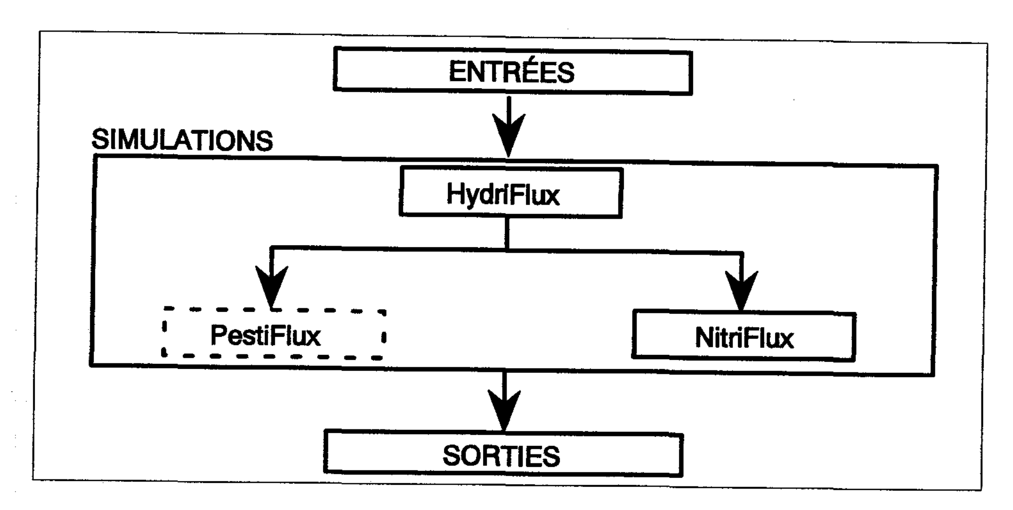


Figure 1. Modèle AgriFlux

Le bloc ENTRÉES, permet de créer, de modifier et d'enregistrer les différents fichiers de données d'entrée requis. C'est aussi dans ce bloc que l'utilisateur définit la simulation et lance le logiciel.

Le bloc SIMULATIONS contient la structure même du modèle. On y retrouve le module HydriFlux qui simule tous les processus ayant trait au transfert de l'eau dans la partie non saturée du sol (précipitations, infiltration, ruissellement, prélèvement par les plantes, évaporation, percolation, drainage). Dans ce module, l'utilisateur peut choisir d'utiliser l'option Drainage, pour simuler la présence de drains agricoles, et l'option Cultures, qui simule le prélèvement d'eau par la plante. Le module NitriFlux contient les processus qui représentent les transformations de l'azote dans le sol (amendements, ruissellement d'azote, minéralisation nette, nitrification, prélèvement par les plantes, dénitrification, incorporation des résidus de récolte et flux de nitrates). Dans ce module, l'utilisateur peut décider d'appliquer des engrais (organiques ou inorganiques) sur son champ par l'intermédiaire de l'option Fertilisations. Le module PestiFlux (version subséquente) contiendra les processus ayant trait respectivement aux transformations des pesticides dans le sol. Le module HydriFlux est essentiel à toute simulation. Si l'utilisateur désire

étudier uniquement la dynamique de l'eau dans le sol, il peut utiliser ce module indépendamment de NitriFlux. Si la dynamique de l'azote l'intéresse, il doit combiner les modules HydriFlux et NitriFlux. Les options relatives à chacun des modules peuvent être activées lorsque les modules concernés sont utilisés dans la simulation.

Le bloc SORTIES permet de visualiser graphiquement les résultats d'une simulation et d'effectuer certaines transformations sur les résultats.

3.2 Approche stochastique

Considérant la variabilité spatiale des paramètres et facteurs conditionnant les processus hydrologiques et ceux du cycle de l'azote, une approche de modélisation stochastique est utilisée dans AgriFlux. Dans cette approche, les paramètres ne sont pas représentés par une valeur moyenne comme c'est le cas dans les modèles déterministes purs, mais par les caractéristiques de leur distribution spatiale. Ainsi, un paramètre suivant une distribution normale est caractérisé par la moyenne et l'écart type de la distribution de ses valeurs naturelles.

Parmi les différentes approches stochastiques de modélisation, la technique de Monte Carlo est utilisée dans AgriFlux. Elle consiste à réaliser un ensemble de simulations déterministes pures pour chacune desquelles les valeurs de paramètres sont tirées aléatoirement (tirage Monte Carlo) sur les distributions statistiques déclarées des valeurs naturelles de chaque paramètre. Cet ensemble de simulations est considéré être représentatif de l'ensemble des conditions locales statistiquement susceptibles d'être rencontrées dans l'espace étudié (ici le champ agricole).

Les distributions pouvant être déclarées pour les données d'entrée sont les distributions discrète, uniforme, normale, lognormale ou asymétrique. La section 14.1 définit les algorithmes utilisés ainsi que les paramètres statistiques requis pour chaque distribution.

3.3 Fichiers

A priori, les fichiers d'entrées et de sorties sont stockés dans le répertoire par défaut, i.e. le répertoire où a été installé AgriFlux. Pendant une session de travail, l'utilisateur peut modifier ce répertoire par défaut en utilisant le chemin complet lors de la sauvegarde des fichiers.

3.3.1 Fichiers entrées

Les données d'entrée requises sont regroupées dans différents fichiers spécifiques selon la nature de l'information qu'ils contiennent. Il existe six fichiers de données concernant le profil de sol, les données climatiques, les pratiques culturales, les paramètres nécessaires à la simulation du cycle de l'azote, les données sur les fertilisants et leurs

caractéristiques, et finalement les caractéristiques du scénario à simuler. Six fichiers types sont fournis avec le logiciel (EXEMPLE.SOL, EXEMPLE.CLI, EXEMPLE.CLT, EXEMPLE.AZO, EXEMPLE.FER et EXEMPLE.SIM).

Par l'intermédiaire de l'interface usager, l'utilisateur peut créer de nouveaux fichiers de données, appeler des fichiers existants et en modifier les valeurs (les extensions, c'est-à-dire les trois lettres après le point identifiant le type de fichier, ne peuvent être modifiées). Il est recommandé de donner le même nom à tous les fichiers, les extensions permettant de les distinguer entre eux. Tous les fichiers sont de type ASCII et sont bâtis de façon à avoir une seule information par ligne. Ils peuvent être édités avec n'importe quel éditeur ou traitement de texte (ASCII) et être ensuite appelés par le modèle comme fichiers d'entrée. La section 14.2 illustre la disposition des données dans chacun des six fichiers. Le logiciel accepte n'importe quel nom (maximum de huit caractères) pour les fichiers, mais les extensions énumérées plus haut doivent être respectées sans quoi le logiciel ne reconnaîtra pas les fichiers au moment de la simulation.

3.3.2 Fichiers résultats

AgriFlux génère quatre types de fichiers résultats différents: les fichiers de flux journaliers d'eau et de nitrates, les fichiers de flux cumulés d'eau et de nitrates, les fichiers de concentrations en nitrates des différents flux d'eau, et les fichiers contenant l'état des réservoirs de carbone et d'azote du sol à une date spécifiée par l'utilisateur. Le premier fichier et le dernier sont créés automatiquement lors d'une simulation et portent le même nom que le fichier *.SIM utilisé. Les deux autres fichiers sont créés à la demande de l'utilisateur par l'intermédiaire de l'interface usager à l'item RÉSULTATS du menu principal (chapitre 8) et l'utilisateur peut les nommer à son gré.

3.2.2.1 Flux journaliers

L'approche stochastique génère autant de résultats de flux journaliers (ruissellement, drainage et lessivage de l'eau et des nitrates) que sont réalisées de simulations stochastiques. Afin de limiter la taille des fichiers résultats tout en conservant l'essentiel de l'information générée par les simulations, la moyenne et l'écart-type des flux journaliers d'eau et de nitrates sont calculés et enregistrés. Ceci permet de caractériser avec une précision suffisante l'importance et l'étalement des différents flux journaliers.

3.3.2.2 État des réservoirs

Le contenu (moyenne et écart-type) des différents réservoirs de carbone et d'azote du sol est aussi fourni automatiquement à la date spécifiée par l'utilisateur dans le fichier *.SIM. Chaque fichier de ce type contient l'état des réservoirs de toutes les couches du profil de sol défini dans le fichier *.SOL.

3.3.2.3 Flux cumulés

Les différents flux journaliers d'eau et d'azote peuvent aussi être cumulés (au mois ou à l'année) pendant la durée spécifiée par l'utilisateur dans l'item RÉSULTATS (chapitre 8). Le calcul des flux cumulés crée un nouveau fichier résultat que l'utilisateur doit nommer. Il est à noter que la visualisation en graphique XY cumulé des flux journaliers d'eau ou de nitrates ne crée pas de nouveau fichier.

3.3.2.4 Concentrations

Les concentrations journalières en nitrates dans l'eau ruisselée, lessivée et drainée sont calculées à la demande de l'utilisateur (item RÉSULTATS, chapitre 8) à l'aide des fichiers de flux d'eau et de nitrates correspondants. La valeur moyenne des flux journaliers est utilisée. Ce calcul crée un nouveau fichier résultat que l'utilisateur doit nommer.

Le logiciel attribue un nom à chacun des fichiers résultats créés automatiquement. Ce nom correspond au nom du fichier simulation utilisé (*.SIM), permettant ainsi de retracer les dates de simulations, les fichiers de données utilisés ainsi que les options retenues ayant généré les résultats en question. L'extension de trois lettres attribuée automatiquement décrit schématiquement la nature des résultats contenus dans le fichier. Si cette extension est modifiée, le logiciel ne reconnaît plus les fichiers et par conséquent ne pourra plus les manipuler (calcul des concentrations, des valeurs cumulées, graphiques). L'utilisateur peut donc modifier à sa guise le nom des fichiers résultats générés, mais les extensions doivent être respectées. Le Tableau 1 résume les extensions attribuées à chaque fichier.

Les fichiers résultats sont de type ASCII. Ils sont bâtis de façon à contenir toute l'information relative à une journée sur chaque ligne (jour, moyenne et écart-type). Les résultats contenus dans les fichiers peuvent être visualisés graphiquement par l'intermédiaire de l'item RÉSULTATS du menu principal (chapitre 8) ou consultés par l'intermédiaire de n'importe quel éditeur, chiffrier ou logiciels graphique ou statistique. La section 14.2 illustre la disposition des résultats dans un fichier type de flux ou de concentration, et dans un fichier type de bilan.

CONTENU DU FICHIER	EXTENSION
Flux journaliers d'eau ruisselée	RUE
Flux journaliers de nitrates ruisselés	RUN
Flux journaliers d'eau lessivée	LEE
Flux journaliers de nitrates lessivés	LEN
Flux journaliers d'eau drainée	DRE
Flux journaliers de nitrates drainés	DRN
Contenus en azote du réservoir LITIÈRE	LIN
Contenus en carbone du réservoir LITIÈRE	LIC
Contenus en azote du réservoir FÈCES	FEN
Contenus en carbone du réservoir FÈCES	FEC
Contenus en azote du réservoir HUMUS	HUN
Contenus en $N\text{-}NH_4^+$ du réservoir AMMONIUM	NH4
Contenus en $N\text{-}NO_3^-$ du réservoir NITRATES	NO3
Flux cumulés d'eau ruisselée	REC
Flux cumulés de nitrates ruisselés	RNC
Flux cumulés d'eau lessivée	LEC
Flux cumulés de nitrates lessivés	LNC
Flux cumulés d'eau drainée	DEC
Flux cumulés de nitrates drainés	DNC
Concentrations en nitrates de l'eau ruisselée	RCO
Concentrations en nitrates de l'eau lessivée	LCO
Concentrations en nitrates de l'eau drainée	DCO

Tableau 1. Extensions des fichiers résultats

4. INSTALLATION DU LOGICIEL

4.1 Procédure d'installation

L'installation d'AgriFlux doit être effectuée comme suit dans l'environnement Windows:

Créer un répertoire AgriFlux dans le chemin désiré.
Copier le contenu de la disquette dans le répertoire.

Dans le Gestionnaire de programmes de Windows (Program manager),

Choisir Fichier (File)
Choisir Propriétés... (Properties...)

Dans la fenêtre "Propriétés de programme", répondre comme suit:

Nom (Description): AgriFlux
Ligne de commande (Command line): AgriFlux.exe
Répertoire de travail (Working directory): c:\AgriFlux
Touche de raccourci (Shortcut key): aucune

L'icone d'AgriFlux apparaît automatiquement dans le Gestionnaire de Programme. Le logiciel peut être lancé en cliquant deux fois sur l'icone.

Deux fichiers sont absolument nécessaires à l'exécution d'AgriFlux:

AGRIFLUX.EXE: fichier programme
AGRIFLUX.DAT: fichier nécessaire aux simulations stochastiques (ce fichier doit se trouver dans le répertoire courant pour que l'exécution soit possible)

Six fichiers exemples pour les données d'entrée sont aussi inclus sur la disquette. Ces fichiers peuvent servir d'exemple dans la préparation d'autres simulations.

EXEMPLE.SOL: paramètres décrivant un profil de sol type
EXEMPLE.CLI: paramètres décrivant un climat type
EXEMPLE.CLT: paramètres décrivant une culture type
EXEMPLE.FER: paramètres décrivant un scénario type de fertilisations
EXEMPLE.AZO: paramètres décrivant une situation type pour le cycle de l'azote
EXEMPLE.SIM: paramètres décrivant une simulation type

Quinze fichiers résultats (provenant d'une simulation à l'aide des fichiers exemples précédents) sont aussi inclus:

EXEMPLE.RUE: flux journaliers d'eau ruisselée
EXEMPLE.RUN: flux journaliers de nitrates ruisselés
EXEMPLE.LEE: flux journaliers d'eau lessivée
EXEMPLE.LEN: flux journaliers de nitrates lessivés
EXEMPLE.DRE: flux journaliers d'eau drainée
EXEMPLE.DRN: flux journaliers de nitrates drainés
EXEMPLE.REC: flux cumulés d'eau ruisselée
EXEMPLE.RNC: flux cumulés de nitrates ruisselés
EXEMPLE.LEC: flux cumulés d'eau lessivée
EXEMPLE.LNC: flux cumulés de nitrates lessivés
EXEMPLE.DEC: flux cumulés d'eau drainée
EXEMPLE.DNC: flux cumulés de nitrates drainés
EXEMPLE.RCO: concentrations en nitrates de l'eau ruisselée
EXEMPLE.LCO: concentrations en nitrates de l'eau lessivée
EXEMPLE.DCO: concentrations en nitrates de l'eau drainée

4.2 Temps de calcul

Pour 1000 simulations à partir des fichiers exemples fournis (2 couches, 2 années, 1 culture et 2 fertilisations par année), le temps de calcul sur un 486/33Mhz est d'environ 60 min. Cette durée est donnée à titre indicatif seulement puisqu'elle peut varier selon l'ordinateur utilisé et selon le scénario simulé.

4.3 Utilisation du logiciel

Après l'installation, l'icone d'AgriFlux apparaît dans le Gestionnaire de programme de Windows. En cliquant cet icone, l'utilisateur lance le logiciel et le logo AgriFlux apparaît à l'écran pour quelques secondes. Le menu principal (Figure 2) propose trois options, le menu FICHIERS, le menu EXÉCUTION, le menu RÉSULTATS et le menu **?**. Les différents items du menu principal et de tous les sous-menus sont accessibles avec la souris ou par l'intermédiaire de la touche Alt (ou de la touche F10) et des flèches de direction. Dans les menus ou sous-menus, les commandes non suivies d'une flèche ouvrent des fenêtres. Pour remplir les différents items des fenêtres, on peut utiliser la souris, les flèches de direction ou le tabulateur (TAB pour avancer et Shift-TAB pour reculer), mais seul le double-clic de la souris permet l'ouverture de la boîte qui donne accès aux lois et aux paramètres.

Des touches rapides ont été installées pour les items les plus fréquemment utilisés. Pour les activer, il s'agit de se placer dans le menu principal et de taper la touche fonction correspondant à l'option voulue. Il est aussi possible d'activer un item en enfonçant la

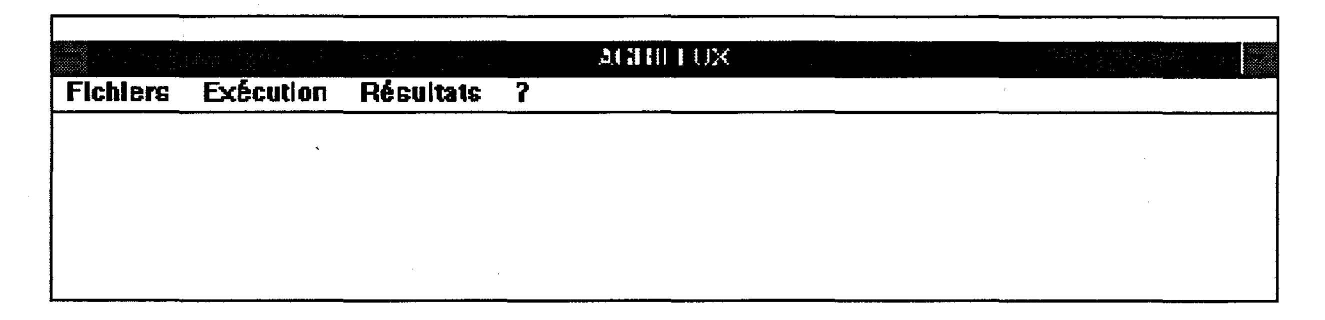


Figure 2. Menu principal

Dans chaque fenêtre, le bouton OK permet de poursuivre, alors que le bouton ANNULER annule en tout temps la procédure en cours et ferme la fenêtre (sans sauvegarder). Certains choix sont mutuellement exclusifs. Lorsque c'est le cas, certaines questions deviendront inactives (mises en grisé) et hors de contrôle de l'utilisateur. Pour les rendre actives à nouveau, il suffit de revoir la réponse donnée à la question déclencheuse.

5. OPÉRATIONS SUR LES FICHIERS

L'édition des fichiers se fait par l'intermédiaire du menu FICHIERS. Ce menu permet de définir les paramètres requis pour les simulations. Dans tous les fichiers, les questions précédées d'un radio-bouton (○) désignent les paramètres définis de manière stochastique. En cliquant deux fois sur le cercle ou sur le texte, une nouvelle fenêtre s'ouvre (Figure 3) dans laquelle l'utilisateur doit choisir le type de loi ainsi que les paramètres associés à la loi. Lorsque l'utilisateur a répondu à une question précédée d'un radio-bouton, le cercle se noircit. Il est toutefois possible de re-cliquer cette question pour en modifier la réponse. Certaines questions sont suivies d'un rectangle à remplir ou encore d'un choix de réponses. Dans ce dernier cas, il suffit de cliquer directement sur le cercle représentant l'option désirée.

Figure 3. Fenêtre des choix des lois et paramètres

Soulignons que le logiciel accepte n'importe quelle combinaison d'un maximum de huit caractères comme nom de fichier. Toutefois, les extensions .SOL, .CLI, .AZO, .CLT, .FER et .SIM (des fichiers Sol, Climat, Azote, Cultures, Fertilisants et Simulation respectivement) ne peuvent être modifiées.

5.1 Création d'un nouveau fichier

Il est possible de créer un nouveau fichier par l'intermédiaire de la commande NOUVEAU du menu FICHIERS. En cliquant NOUVEAU, un sous-menu présentant les 6 types de fichiers (Sol, Climat, cycle de l'Azote, Cultures, Fertilisant et Simulation) apparaît.

En cliquant le type de fichier voulu, une fenêtre permettant de définir les paramètres requis dans le fichier en question s'ouvre (sections 6.1 à 6.6). Il est à noter que tous les paramètres doivent avoir été saisis avant de pouvoir enregistrer le fichier.

5.2 Modification d'un fichier existant

Il est possible de modifier un fichier existant par l'intermédiaire de la commande OUVRIR du menu FICHIERS. On peut aussi créer un nouveau fichier à partir d'un fichier existant en le sauvant sous un autre nom. En cliquant OUVRIR, un sous-menu présentant les 6 types de fichiers apparaît. En cliquant le type de fichier voulu, une boîte propose les fichiers disponibles de ce type dans le répertoire par défaut. Après avoir entré le nom du fichier voulu ou l'avoir sélectionné dans la liste fournie, puis en cliquant OK, la fenêtre correspondant au fichier demandé s'ouvre (sections 6.1 à 6.6).

5.3 Impression d'un fichier

Il est possible d'imprimer un fichier de données d'entrées ou un fichier résultats à l'aide de la commande IMPRIMER du menu FICHIERS. En cliquant IMPRIMER, une fenêtre demandant le nom et l'extension du fichier à imprimer s'ouvre. Après avoir entré le nom du fichier voulu ou l'avoir sélectionné dans la liste fournie, puis en cliquant OK, le fichier s'imprime et l'interface se repositionne dans le menu principal.

5.4 Quitter l'application AgriFlux

L'utilisateur peut quitter l'application AgriFlux et revenir au Gestionnaire de programmes de Windows en cliquant la commande QUITTER du menu FICHIERS ou avec Alt-F4.

6. DONNÉES D'ENTRÉE

Les données d'entrée nécessaires à l'exécution du logiciel sont comprises dans 6 fichiers différents, correspondant aux 6 types d'informations requises, soit l'information ayant trait au profil de sol, au climat, au cycle de l'azote, aux cultures, aux fertilisants et à la simulation. Les fichiers sont créés et édités indépendamment l'un de l'autre. Il appartient donc à l'utilisateur de combiner des fichiers compatibles (au niveau des dates, du nombre de couches, de la durée d'une simulation, des options activées, etc...) lorsqu'il effectue une simulation dans le menu EXÉCUTION (chapitre 7). Il est à noter que toutes les valeurs numériques doivent être définies à l'aide d'un point et non d'une virgule. De plus, l'utilisateur peut se référer au chapitre 10 (description technique) pour avoir plus de détails quant aux représentations mathématiques utilisées pour chacun des processus.

6.1 Profil de sol

Le modèle AgriFlux simule le transport de l'eau et des contaminants dans la zone non saturée du sol. Il faut donc définir le profil de sol jusqu'à la nappe phréatique ou du moins jusqu'à une profondeur au-delà de laquelle on considèrera que l'activité biochimique du sol est négligeable et que l'importance des flux d'azote ne peut plus être atténuée. Si le profil est défini jusqu'à la nappe, sa limite doit correspondre à la plus grande profondeur atteinte par la nappe pendant l'année. Dans tous les cas, il faut aussi identifier s'il existe une couche imperméable immédiatement sous-jacente à cette profondeur maximale de la nappe, et à travers laquelle la nappe ne peut s'écouler librement. Dans ce cas, il est considéré que les écoulements dans la zone non saturée n'alimentent pas de nappe profonde. Dans le cas contraire (fond perméable), l'écoulement n'est pas limité en profondeur et un flux de recharge de la nappe est calculé. La Figure 4 illustre un profil de sol type.

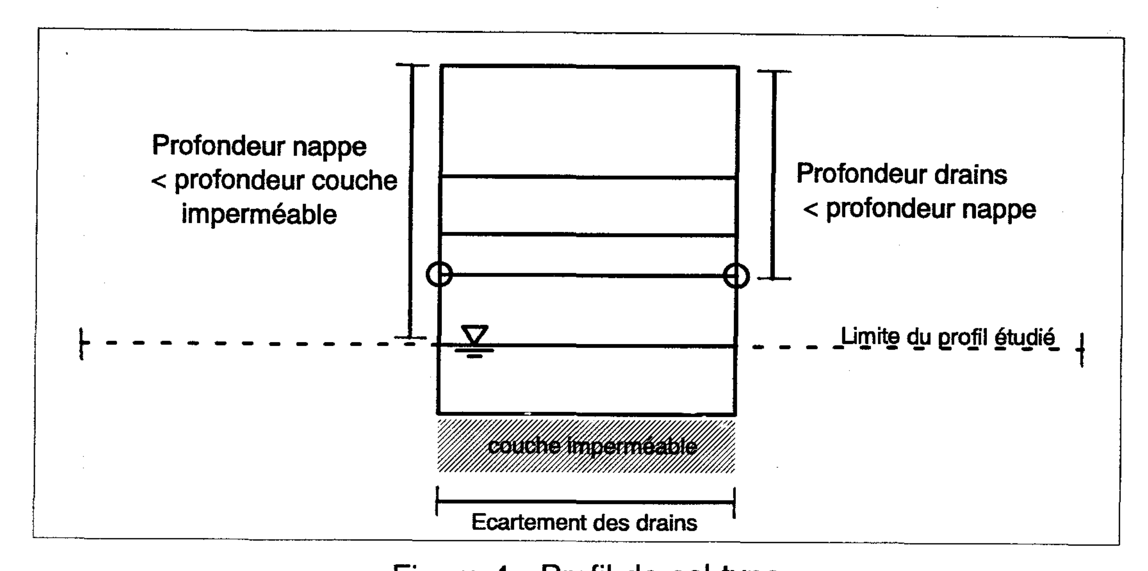


Figure 4. Profil de sol type

Le profil étudié doit être divisé en couches de sol physiquement homogènes. Pour chacune, il faut déterminer l'épaisseur, la conductivité hydraulique à saturation, la porosité, la capacité au champ, le point de flétrissement et la composition en sable-limon-argile. Ces paramètres devraient avoir fait l'objet d'une caractérisation sur le terrain, mais à défaut de disposer de toutes les données pour un site en particulier, certains d'entre eux peuvent être estimés à partir d'abaques ou de formules établies dans la littérature.

Pour délimiter les couches homogènes, il est recommandé de se baser sur les horizons naturels du sol. Il peut être cependant nécessaire de définir plus de couches qu'il n'existe d'horizons (tel que deux (demi-)couches identiques pour un même horizon), par exemple afin de placer les drains à la limite de deux couches (condition nécessaire). Les couches sont numérotées à partir de 1 dans le sens descendant.

6.1.1 Caractéristiques générales du sol

Une première fenêtre du fichier Sol concerne les caractéristiques générales du profil étudié.

Caractéristiques générales du sol

Nombre de couches :

Présence d'un niveau imperméable sous la nappe ? ○ OUI ○ NON

Présence de drains dans le profil ? ○ OUI ○ NON

○ Pente du sol (%)

○ Profondeur maximale d'évaporation (m)

○ Espacement des drains (m)

Profondeur des drains :

de la couche au dessus :

de la couche en dessous :

Enregistrer

Caractéristiques des couches ...

Annuler

Figure 5. Fenêtre des caractéristiques générales du sol

NOMBRE DE COUCHES:

Définition: Nombre d'horizons homogènes du profil de sol.

Valeur: Valeur ponctuelle comprise entre 1 et 20.

Suggestion: Le profil de sol doit être défini jusqu'à la profondeur maximale de la nappe (i.e. l'élévation la plus basse atteinte par la nappe au cours de l'année) ou jusqu'à une profondeur au-delà de laquelle on considère que la bioactivité est négligeable et que l'importance des flux n'est plus atténuée. Plus le nombre de couches sera élevé, plus les résultats seront représentatifs des conditions réelles, mais plus la simulation sera longue.

PRÉSENCE D'UN NIVEAU IMPERMÉABLE SOUS LA NAPPE?:

Définition: Y a-t-il une couche imperméable immédiatement sous-jacente à la profondeur maximale de la nappe (limite du profil) à travers laquelle celle-ci ne peut s'écouler librement?

Valeur: OUI / NON

Suggestion: Il est recommandé d'utiliser cette option uniquement dans le cas où la couche sous-jacente au profil possède une conductivité hydraulique très faible car dans ce cas, les flux d'eau seront dirigés vers le système de drainage.

PRÉSENCE DE DRAINS DANS LE PROFIL?:

Définition: Y a-t-il des drains agricoles dans le profil déclaré?

Valeur: OUI / NON

PENTE DU SOL (%):

Définition: Pente de la surface du sol.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 10%.

Suggestion: Une valeur approximative de la pente suffit actuellement puisque le module HydriFlux (1.0) considère uniquement la présence ou l'absence de pente pour effectuer la répartition des précipitations entre l'infiltration et le ruissellement. Cette pente pourra devenir nécessaire dans les modules futurs.

PROFONDEUR MAXIMALE D'ÉVAPORATION (m):

Définition: Épaisseur de la partie supérieure du sol dans laquelle il peut y avoir évaporation de l'eau du sol.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 5 m.

Suggestion: Distribution uniforme ou normale entre 0 et 0.15 m. Si la profondeur définie excède la profondeur maximale du profil, l'évaporation est considérée comme ayant lieu sur toute l'épaisseur du profil.

ESPACEMENT DES DRAINS (m):
Définition: Distance horizontale séparant les drains.
Valeur: Valeur distribuée supérieure à 0 et inférieure ou égale à 100 m.
Suggestion: Distribution uniforme ou normale entre 15 et 20 m.

PROFONDEUR DES DRAINS (m):
Définition: Identification de l'interface entre 2 couches où se situent les drains.
Valeur: Numéro de la couche sus-jacente, supérieur à 0 et inférieur ou égal au numéro de l'avant-dernière couche du profil. Numéro de la couche sous-jacente supérieur à 1 et inférieur ou égal au numéro de la dernière couche du profil.

6.1.2 Caractéristiques des couches

L'utilisateur doit caractériser les différentes couches du profil en cliquant sur le bouton CARACTÉRISTIQUES DES COUCHES. La fenêtre correspondante s'ouvre (Figure 6).

Figure 6. Fenêtre des caractéristiques d'une couche

Les couches peuvent être caractérisées l'une après l'autre, en débutant par la couche la plus proche de la surface du sol, soit la couche #1. Les boutons OK et ANNULER permettent de passer aux couches suivante et précédente respectivement.

ÉPAISSEUR (m):
Définition: Épaisseur de chaque horizon homogène.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0.01 et 5 m.
Suggestion: Distribution uniforme ou normale.

Si les données requises n'ont pas fait l'objet de mesures sur le terrain, la classe texturale peut être déterminée à l'aide de la Figure 7, à partir de la composition en sable, limon et argile du sol. Avec cette texture, il est possible d'évaluer une valeur approximative de conductivité hydraulique saturée, de porosité, de capacité au champ et de point de flétrissement à l'aide du Tableau 2.

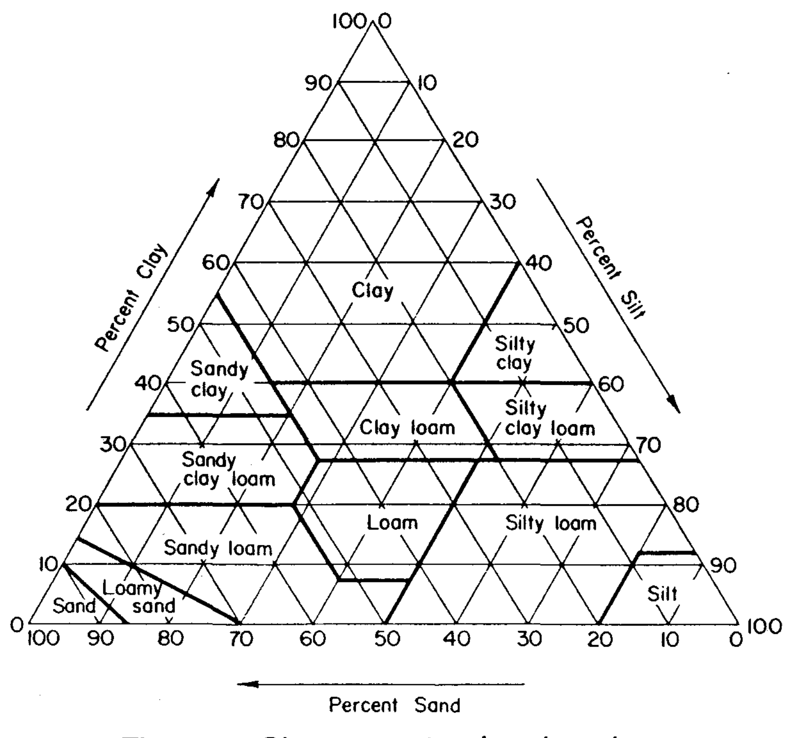


Figure 7. Classes texturales de sols

CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE SATURÉE (m/j):
Définition: Propriété du matériau représentant son aptitude à laisser s'écouler l'eau.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 10^{-6} et 10^{2} m/j.
Suggestion: Distribution lognormale, avec un écart-type de même valeur que la moyenne.

Texture	Porosité	Capacité au champ (0.33 bar)	Point de flétrissement (15 bars)	Conductivité hydraulique (cm/h)
Sable	0.437 (0.063)*	0.091 (0.073)	0.033 (0.026)	21.00
Sable loameux	0.437 (0.069)	0.125 (0.065)	0.055 (0.036)	6.11
Loam sableux	0.453 (0.102)	0.207 (0.081)	0.095 (0.064)	2.59
Loam	0.463 (0.088)	0.270 (0.075)	0.117 (0.048)	0.68
Loam silteux	0.501 (0.081)	0.330 (0.072)	0.133 (0.055)	1.32
Loam arg. sabl.	0.398 (0.066)	0.255 (0.069)	0.148 (0.063)	0.43
Loam argileux	0.464 (0.055)	0.318 (0.068)	0.197 (0.082)	0.23
Loam arg. silt.	0.471 (0.053)	0.366 (0.062)	0.208 (0.07)	0.15
Argile sableuse	0.43 (0.060)	0.339 (0.094)	0.239 (0.077)	0.12
Argile silteuse	0.479 (0.054)	0.387 (0.055)	0.25 (0.057)	0.09
Argile	0.475 (0.048)	0.396 (0.070)	0.272 (0.064)	0.06

* La valeur fournie dans chaque case est la valeur moyenne et la valeur entre parenthèses est l'écart-type.

Tableau 2. Propriétés hydrologiques des sols selon leur classe texturale (adaptée de Rawls et Brakensiek, 1989)

Il est important de noter que la porosité moyenne (dans le cas d'une distribution normale ou lognormale et le point milieu entre la borne supérieure et la borne inférieure dans le cas d'un intervalle ou d'une distribution Bêta) doit être supérieure à la capacité au champ moyenne qui à son tour doit être supérieure au point de flétrissement moyen.

POROSITÉ (m^3/m^3):

Définition: Rapport du volume des vides au volume total du matériau; teneur en eau à saturation.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1.

Suggestion: Distribution normale, avec un écart-type dix fois plus petit que la moyenne.

CAPACITÉ AU CHAMP (m^3/m^3):

Définition: Teneur volumique en eau du sol après que l'excédent d'eau se soit drainé et que le régime d'écoulement vertical soit nul. La capacité au champ doit être inférieure à la porosité.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1.

Suggestion: Distribution normale, avec un écart-type dix fois plus petit que la moyenne.

Rawls et Brakensiek (1989) ont suggéré une régression permettant de calculer la capacité au champ d'un sol en fonction des pourcentages de sable (%sable) et de matière organique (%m.o.), ainsi que de son point de flétrissement (flet.):

Capacité au champ = 0.2391 - 0.0019 * %sable + 0.021 * %m.o. + 0.72 * flet.

POINT DE FLÉTRISSEMENT (m^3/m^3):

Définition: Teneur en eau en-deçà de laquelle les forces d'adsorption surpassent celles que la plante peut générer pour extraire l'eau nécessaire à sa croissance. Le point de flétrissement doit être inférieur à la capacité au champ.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1.

Suggestion: Distribution normale, avec un écart-type dix fois plus petit que la moyenne.

Rawls et Brakensiek (1989) ont suggéré une régression pour calculer le point de flétrissement en fonction des pourcentages d'argile (%argile) et de matière organique (%m.o.) du sol:

Point de flétrissement = 0.026 + 0.005 * %argile + 0.0158 * %m.o.

POURCENTAGE DE SABLE (%):

Définition: Pourcentage de sable dans la couche.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 100 % ou 0 et 1.

Suggestion: Distribution normale, avec un écart-type dix fois plus petit que la moyenne.

POURCENTAGE DE LIMON (%):

Définition: Pourcentage de limon dans la couche.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 100 % ou 0 et 1.

Suggestion: Distribution normale, avec un écart-type dix fois plus petit que la moyenne.

POURCENTAGE D'ARGILE (%):

Définition: Pourcentage d'argile dans la couche.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 100 % ou 0 et 1.

Suggestion: Distribution normale, avec un écart-type dix fois plus petit que la moyenne.

Les pourcentages de sable, de limon et d'argile peuvent être saisis en % ou en fraction. La sommation des trois devrait donner 100% ou 1 selon le format choisi.

En cliquant le bouton OK dans la fenêtre de la dernière couche, l'utilisateur revient à la fenêtre CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU SOL.

Dans la fenêtre CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU SOL, l'utilisateur peut sauvegarder son fichier en cliquant le bouton ENREGISTRER et en spécifiant le nom du fichier à enregistrer. En cliquant le bouton ANNULER, l'utilisateur retourne au menu principal et aucune valeur n'est sauvegardée.

S'il désire entrer les valeurs pour un autre type de fichier, l'utilisateur doit repasser par NOUVEAU ou OUVRIR.

6.2 Climat

La fenêtre principale du fichier Climat pose les questions relatives aux données climatiques.

NOMBRE DE JOURS DE PRÉCIPITATIONS:
Définition: Nombre moyen de jours de précipitations dans une année.
Valeur: Valeur ponctuelle comprise entre 0 et 365.
Suggestion: Le Tableau 3 propose des valeurs pour ce paramètre dans différentes villes du Québec selon les moyennes sur 30 ans fournies par Environnement Canada (1984a).

JOUR OU LA TEMPÉRATURE EST LA PLUS BASSE (1 à 365):
Définition: Quantième du jour de l'année où la température de l'air est la plus basse.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 1 et 365.
Suggestion: Distribution uniforme ou normale entre les jours 20 et 25 (au Québec).

FRACTION DE NEIGE AU SOL AU DÉBUT DE LA FONTE (m/m):
Définition: Fraction des précipitations totales de l'hiver (en équivalent d'eau) qui reste au champ lorsque la fonte débute (lorsque la température de l'air excède 0°C).
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1.
Suggestion: Distribution uniforme ou normale entre 0.1 et 0.5, selon le degré d'exposition du champ au vent et à l'ensoleillement.

Données climatiques

Nombre de jours de pluie :

- ○ **Jour où la température est la plus basse (1 à 365)**
- ○ **Fraction de neige au sol au début de la fonte (m/m)**
- ○ **Taux de fonte de la neige (m/°C/jour)**

	Précipitation (m)	Température (°C)	Évaporation (m)
Janvier			
Février			
Mars			
Avril			
Mai			
Juin			
Juillet			
Août			
Septembre			
Octobre			
Novembre			
Décembre			

Figure 8. Fenêtre des données climatiques

VILLE	NBRE DE JOURS DE PRÉCIPITATIONS
La Patrie (Beauce Sud)	164
La Pocatière (Bas-St-Laurent)	150
Lennoxville (Estrie)	174
Les Cèdres (Sud-Ouest de Montréal)	131
Nominingue (Abitibi)	156
Normandin (Lac St-Jean)	155
St-Arsène (Bas-St-Laurent)	159
St-Augustin (Québec)	175
Ste-Anne-de-Bellevue (île de Montréal)	155
Ste-Anne-de-la-Pérade (Mauricie)	141

Tableau 3. Nombre moyen de jours de précipitations au Québec
(Env. Canada, 1984a)

TAUX DE FONTE (m·°C^{-1}·jour^{-1}):

Définition: Hauteur de neige fondue par °C et par jour.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 0.1 m/°C/jour.
Suggestion: Valeur comprise entre 0 et 0.009 m/°C/jour.

La Figure 9, compilée à partir des résultats calculés pour différentes valeurs du taux de fonte permet à l'utilisateur de déterminer approximativement la valeur de ce paramètre. La méthode d'évaluation consiste à localiser sur l'axe vertical du graphique la hauteur d'eau équivalente de la neige qui reste au sol au début de la fonte et sur l'axe horizontal le nombre de jours nécessaire à la fonte de cette couche de neige. L'intersection de ces deux valeurs identifie la courbe correspondant au paramètre recherché. Cet abaque ne tenant pas compte de la rétention d'eau, il faut soustraire environ cinq jours à la durée de la fonte (axe horizontal). L'accroissement de la température printanière ayant servi à bâtir l'abaque correspond au passage des températures de 0°C à 8°C en 30 jours.

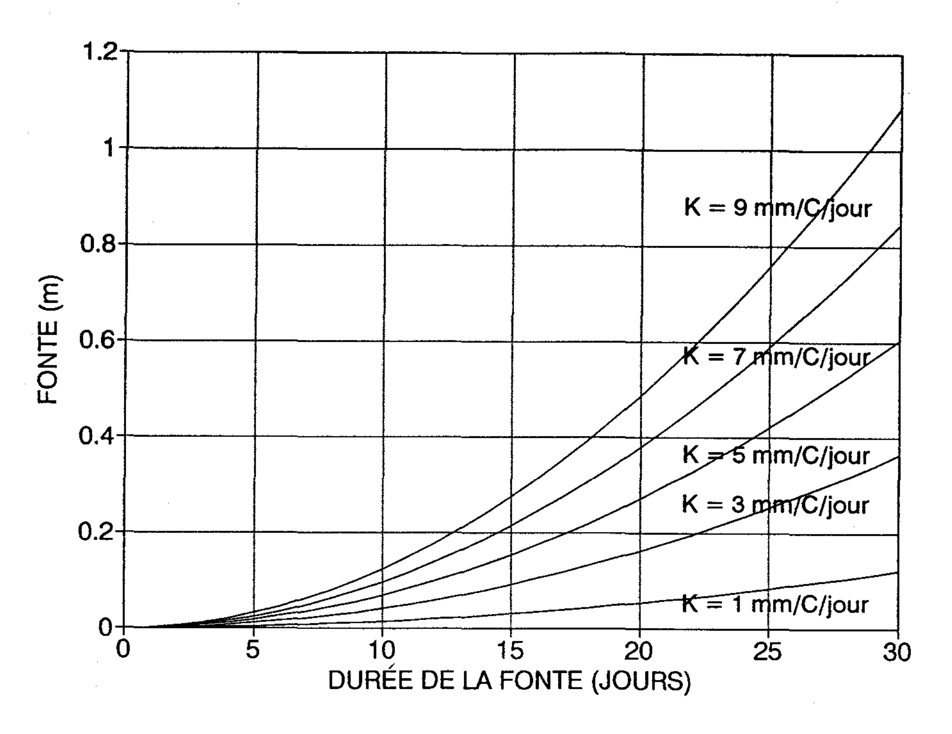


Figure 9. Abaque de fonte de neige

PRÉCIPITATIONS (m):

Définition: Hauteur d'eau moyenne précipitée (pluie et équivalent en eau de la neige) durant chaque mois.
Valeur: Valeur ponctuelle comprise entre 0 et 1 m.
Suggestion: Environnement Canada, 1984a.

TEMPÉRATURES (°C):
Définition: Température moyenne de l'air pour chaque mois.
Valeur: Valeur ponctuelle comprise entre -30°C et 30°C.
Suggestion: Environnement Canada, 1984b.

ÉVAPORATION (m):
Définition: Hauteur d'eau moyenne évaporée du sol durant chaque mois.
Valeur: Valeur ponctuelle comprise entre 0 et 1 m.
Suggestion: Environnement Canada, 1984c.

L'utilisateur peut sauvegarder le fichier en cliquant le bouton ENREGISTRER et en spécifiant le nom du fichier à enregistrer. En cliquant sur le bouton ANNULER, il revient au menu principal sans sauvegarder.

S'il désire entrer les valeurs pour un autre type de fichier, l'utilisateur doit repasser par NOUVEAU ou OUVRIR.

6.3 Cycle de l'azote

L'utilisateur peut se référer à la section 10.4 pour une description exhaustive du cycle de l'azote tel que représenté dans AgriFlux.

6.3.1 Caractéristiques du cycle de l'azote

La fenêtre principale du fichier Azote (Figure 10) s'intitule CARACTÉRISTIQUES DU CYCLE DE L'AZOTE.

Elle propose une liste de questions:

NOMBRE DE COUCHES:
Définition: Nombre d'horizons homogènes dans le profil de sol.
Valeur: Valeur ponctuelle entre 1 et 20.
Suggestion: Le nombre de couches doit correspondre à celui défini dans le fichier *.SOL utilisé de pair avec le fichier *.AZO

Caractéristiques du cycle de l'azote

Nombre de couches :

MINÉRALISATION/IMMOBILISATION :

○ Constante de dégradation de la litière (1/jour)
○ Constante de dégradation des fèces (1/jour)
○ Efficacité de la synthèse microbienne de la litière (fraction)
○ Efficacité de la synthèse microbienne des fèces (fraction)
○ Fraction de la litière passant à l'humus (fraction)
○ Fraction des fèces passant à l'humus (fraction)
○ Rapport C/N du sol
○ Constante de minéralisation de l'humus (1/jour)
○ Fraction de l'azote inorganique disponible (fraction)

NITRIFICATION :

○ Rapport NO3/NH4 du sol
○ Constante de nitrification (1/jour)

DÉNITRIFICATION :

○ Constante de demi-saturation pour la dénitrification (mg N/l)
○ Constante de dénitrification (g N/m^2/jour)
○ Profondeur maximale de dénitrification (m)

Patron de dénitrification : ○ Cônique (Exponentielle) ○ Hémisphérique (Linéaire) ○ Cylindrique (Constante)

Figure 10. Fenêtre des caractéristiques du cycle de l'azote

À propos de la minéralisation / immobilisation:

CONSTANTE DE DÉGRADATION DE LA LITIÈRE (1/jour):
Définition: Taux de minéralisation du carbone du réservoir LITIÈRE.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0.001 et 0.1 m/jour.

CONSTANTE DE DÉGRADATION DES FÈCES (1/jour):
Définition: Taux de minéralisation du carbone du réservoir FÈCES.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0.001 et 0.1 m/jour.

EFFICACITÉ DE LA SYNTHÈSE MICROBIENNE DE LA LITIÈRE:
Définition: Efficacité microbienne de la minéralisation du réservoir LITIÈRE.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1.

EFFICACITÉ DE LA SYNTHÈSE MICROBIENNE DES FÈCES:
Définition: Efficacité microbienne de la minéralisation du réservoir FÈCES.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1.

FRACTION DE LITIÈRE PASSANT A L'HUMUS:
Définition: Fraction du carbone du réservoir LITIÈRE passant au réservoir HUMUS.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1

FRACTION DE FÈCES PASSANT A L'HUMUS:
Définition: Fraction du carbone du réservoir FÈCES passant au réservoir HUMUS.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1.

RAPPORT C/N DU SOL:
Définition: Rapport carbone/azote du sol.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 100.

CONSTANTE DE MINÉRALISATION DE L'HUMUS (1/jour):
Définition: Taux de minéralisation de l'azote du réservoir HUMUS.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0.00001 et 0.001.

FRACTION DE L'AZOTE INORGANIQUE DISPONIBLE:
Définition: Fraction de l'azote inorganique (NH_4^+ et NO_3^-) disponible pour le prélèvement par les plantes et pour l'immobilisation.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 0.5.

À propos de la nitrification:

RAPPORT NO_3^-/NH_4^- DU SOL:
Définition: Rapport nitrates/ammonium du sol.
Valeur: Valeur distribuée supérieure à 0 et inférieure à 100.

CONSTANTE DE NITRIFICATION (1/jour):
Définition: Taux de nitrification de l'ammonium en nitrates.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0.01 et 1.

À propos de la dénitrification:

CONSTANTE DE DEMI-SATURATION (mgN/l):
Définition: Constante de demi-saturation dans la relation de Michaelis-Menten utilisée pour la dénitrification.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 50 mgN/l.

CONSTANTE DE DÉNITRIFICATION ($gN{\cdot}m^{-2}{\cdot}jour^{-1}$):

Définition: Taux potentiel de dénitrification dans la relation de Michaelis-Menten utilisée pour la dénitrification.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0.01 et 1 $gN{\cdot}m^{-2}{\cdot}jour^{-1}$.

PROFONDEUR MAXIMALE DE DÉNITRIFICATION (m):

Définition: Profondeur jusqu'à laquelle il peut y avoir dénitrification.

Valeur: Valeur distribuée supérieure ou égale à 0 et inférieure ou égale à 100 m.

Suggestion: La profondeur de dénitrification correspond généralement (à cause de l'abondance de C organique qui y est reliée) à la profondeur des racines.

PATRON DE DÉNITRIFICATION:

Définition: Patron selon lequel la dénitrification diminue avec la profondeur. Ce patron correspond généralement au patron racinaire défini dans le fichier Cultures.

Valeur: Conique (exponentielle) / Hémisphérique (linéaire) / Cylindrique (constante)

6.3.2 Conditions initiales des couches

L'utilisateur peut cliquer le bouton CONDITIONS INITIALES DES COUCHES pour définir l'état initial de chaque couche du sol en carbone et en azote.

Conditions initiales d'une couche

Couche # :

- Contenu en Carbone du réservoir LITIÈRE (kg C/ha)
- Contenu en Azote du réservoir LITIÈRE (kg N/ha)
- Contenu en Carbone du réservoir FÈCES (kg C/ha)
- Contenu en Azote du réservoir FÈCES (kg N/ha)
- Contenu en Azote du réservoir HUMUS (kg N/ha)
- Contenu en Azote du réservoir AMMONIUM (kg N/ha)
- Contenu en Azote du réservoir NITRATES (kg N/ha)

OK Annuler

Figure 11. Fenêtre des conditions initiales d'une couche

Les couches y défilent une à une en commençant par la couche supérieure (le numéro de la couche est indiqué dans le haut de la fenêtre). L'utilisateur peut passer d'une couche à l'autre en cliquant le bouton OK et peut revenir à la couche précédente en cliquant ANNULER.

Au début d'une simulation, il est nécessaire d'identifier les contenus en carbone et en azote des différents réservoirs. Ces valeurs sont souvent mesurées au champ au début du printemps, mais si elles sont inconnues, elles peuvent être évaluées approximativement à partir de teneurs moyennes en C et N des années précédentes. Au cours des années que dure une simulation, les contenus en C et N varient pour tendre vers un "état permanent". Donc, plus une simulation est longue, plus l'influence des conditions initiales diminue.

Au Québec, l'automne et l'hiver permettent généralement une décomposition importante du carbone et de l'azote des réservoirs LITIÈRE et FÈCES. Si la simulation débute au printemps (avant fertilisation et semailles), il est plausible de poser à zéro les contenus en C et N des réservoirs LITIÈRE et FÈCES. Ceux-ci seront augmentés au cours de la première année par l'intermédiaire des fertilisations et de l'incorporation des résidus. A cette période de l'année, on peut mettre tout l'azote organique mesuré au champ dans le réservoir HUMUS qui contient l'azote décomposé et qui se minéralise très lentement. S'il est connu, le reliquat d'azote inorganique (NO_3^+ et NH_4^-) doit aussi être inclus dans les réservoirs correspondants. Si le reliquat est inconnu, on peut supposer que tout l'ammonium a été nitrifié et que tous les nitrates ont été lessivés à l'automne et ainsi poser ces contenus à zéro.

CONTENU EN C DU RÉSERVOIR LITIÈRE (kg C/ha):
Définition: Contenu en carbone de la partie ligneuse de la matière organique qui se minéralise rapidement.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 50000 kg C/ha.

CONTENU EN N DU RÉSERVOIR LITIÈRE (kg N/ha):
Définition: Contenu en azote de la partie ligneuse de la matière organique qui se minéralise rapidement.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 50000 kg N/ha.

CONTENU EN C DU RÉSERVOIR FÈCES (kg C/ha):
Définition: Contenu en carbone de la partie d'origine animale de la matière organique qui se minéralise rapidement.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 50000 kg C/ha.

CONTENU EN N DU RÉSERVOIR FÈCES (kg N/ha):
Définition: Contenu en azote de la partie d'origine animale de la matière organique qui se minéralise rapidement.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 50000 kg N/ha.

CONTENU EN N DU RÉSERVOIR HUMUS (kg N/ha):
Définition: Contenu en azote de la partie de la matière organique qui se minéralise lentement.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 50000 kg N/ha.

CONTENU EN N-NH_4^+ DU RÉSERVOIR AMMONIUM (kg N-NH_4^+/ha):
Définition: Contenu en azote sous forme ammoniacale du sol.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 50000 kg N-NH_4^+/ha.

CONTENU EN N-NO_3^- DU RÉSERVOIR NITRATES (kg N-NO_3^-/ha):
Définition: Contenu en azote sous forme nitrique du sol.
Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 50000 kg N-NO_3^-/ha.

En cliquant OK dans la dernière couche, l'utilisateur revient à la fenêtre CARACTÉRISTIQUES DU CYCLE DE L'AZOTE.

S'il le désire l'utilisateur peut sauvegarder ses modifications en cliquant ENREGISTRER. En cliquant ANNULER, il revient au menu principal.

6.4 Cultures

La fenêtre principale du fichier Cultures pose une seule question (Figure 12):

Cultures

Nombre de cultures :

Enregistrer

Caractéristiques d'une culture

Annuler

Figure 12. Fenêtre des cultures

NOMBRE DE CULTURES:
Définition: Nombre total de cultures annuelles pendant toute la période de simulation ou nombre d'années de croissance pour une culture pérenne.
Valeur: Valeur ponctuelle comprise entre 0 et 50.
Suggestion: Maximum de deux cultures par année (au Québec).

Les caractéristiques de chaque culture peuvent être saisies en cliquant le bouton CARACTÉRISTIQUES DES CULTURES. La fenêtre correspondante s'ouvre (Figure 13).

Caractéristiques d'une culture

Culture # :

Date de début de croissance: Jour : Mois : Année :

Date de fin de croissance : Jour : Mois : Année :

Type de culture : ○ Annuelle ○ Pérenne

Nombre de coupes :

Travail du sol : ○ Non ○ Oui

Date de travail du sol : Jour : Mois: Année :

○ Profondeur de travail du sol (m)

○ Besoin en eau (m)

○ Besoin en azote (kg N/ha)

○ Fraction de l'azote récolté

○ Fraction de l'azote résiduel

○ Rapport C/N des résidus de récolte

○ Rapport C/N des racines

○ Profondeur des racines à maturité (m)

Patron racinaire : ○ Cônique (Exponentielle) ○ Hémispérique (Linéaire) ○ Cylindrique (Constante)

OK Annuler

Figure 13. Fenêtre des caractéristiques d'une culture

Les cultures peuvent être caractérisées l'une après l'autre en débutant par celle qui arrive en premier dans le temps (le numéro de la culture s'affiche en haut de la fenêtre). Le bouton OK permet de passer à la culture suivante chronologiquement, alors que la boîte ANNULER rappelle la culture précédente.

DATE DE DÉBUT DE CROISSANCE:

Définition: Date d'émergence pour une culture annuelle et date de début de croissance pour une culture pérenne.

Valeur: Jour / Mois / Année.

Suggestion: La date de début de croissance doit être avant la date de fin de croissance. Les deux dates doivent se situer dans la même année.

DATE DE FIN DE CROISSANCE:

Définition: Date de maturité pour une culture annuelle et date de fin de croissance pour une culture pérenne.

Valeur: Jour / Mois / Année.

Suggestion: La date de fin de croissance doit être après la date de début de croissance. Les deux dates doivent se situer dans la même année.

TYPE DE CULTURE:

Définition: La culture est-elle de type annuelle (ex. maïs) ou pérenne (ex. fraisière)?

Valeur: Annuelle / Pérenne

NOMBRE DE COUPES:

Définition: Nombre total de coupes de la culture (pendant une saison de croissance).

Valeur: Valeur ponctuelle comprise entre 1 et 5.

Suggestion: S'il s'agit d'une culture annuelle: 1 coupe.
S'il s'agit d'une culture pérenne: de 0 à 5 coupes.

L'utilisateur doit identifier la fraction de l'azote total prélevée par la plante et exportée par la récolte et la fraction demeurant à la surface du sol comme résidus de récolte. Ces fractions permettent d'établir la partie de l'azote total prélevée par la plante qui demeure dans le sol sous forme de racines au moment de la récolte. Les racines sont incorporées au réservoir LITIÈRE de chaque couche proportionnellement à la fraction de racines présente à la fin de la période de croissance. La fraction d'azote demeurant sous forme de résidus à la surface est incorporée au réservoir LITIÈRE au moment du travail du sol. Il est donc nécessaire de définir une date ainsi qu'une profondeur de travail afin d'incorporer les résidus de récolte à la matière organique du sol. Il est à noter que, dans la présente version (1.0) d'AgriFlux, le travail du sol n'a pas d'influence sur l'infiltration ou l'activité biochimique du sol, et sert uniquement à l'incorporation des résidus de récolte.

TRAVAIL DU SOL:

Définition: Le sol est-il travaillé après la culture?

Valeur: Oui / Non.

Suggestion: Il est recommandé de simuler un travail du sol s'il y a des résidus de récolte puisque c'est la seule façon d'incorporer ces résidus au sol. Dans le cas d'une culture pérenne, il n'y a pas de travail du sol.

Lorsqu'il y a travail du sol, l'utilisateur doit répondre aux questions suivantes. Dans le cas contraire, ces questions sont en grisé et inaccessibles à l'utilisateur.

DATE DE TRAVAIL DU SOL:

Définition: Date à laquelle a lieu le travail du sol.

Valeur: Jour / Mois / Année.

Suggestion: La date de travail du sol doit obligatoirement être après la date de fin de croissance de la culture en question. Elle peut se situer l'année suivante.

PROFONDEUR DE TRAVAIL DU SOL (m):

Définition: Profondeur jusqu'à laquelle le sol est travaillé.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 0.5 m ou la profondeur de la dernière couche du profil de sol.

Suggestion: Distribution uniforme ou normale entre 0 et 0.3 m.

BESOIN EN EAU (m):

Définition: Besoin en eau total potentiel par saison de croissance.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1 m.

Le besoin en eau par saison de croissance est souvent connu en m^3/ha. L'utilisateur peut transformer ces données en m en effectuant le calcul suivant:

besoin en eau (m) = besoin en eau (m^3/ha) * 0.0001

BESOIN EN AZOTE (kg N/ha):

Définition: Besoin en azote total potentiel par saison de croissance.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1000 kg N/ha.

La fraction de l'azote total prélevé par la plante demeurant dans le sol sous forme de racines correspond à 1 moins la fraction de l'azote récolté moins la fraction de l'azote résiduel. Si la fraction de l'azote récolté plus la fraction de l'azote résiduel égale 1, la fraction racinaire est négligeable. La somme des deux fractions doit toujours être inférieure ou égale à 1.

FRACTION DE L'AZOTE RÉCOLTÉ:

Définition: Fraction de l'azote total prélevé par la plante qui est récoltée à la date de fin de croissance dans le cas d'une culture annuelle.

Valeur: Valeur distribuée entre 0 et 1.

Suggestion: Culture annuelle: ≤1
Culture pérenne: 1

FRACTION DE L'AZOTE RÉSIDUEL:

Définition: Fraction de l'azote total prélevé par la plante demeurant sur le sol sous forme de résidus à la date de fin de croissance.

Valeur: Valeur distribuée entre 0 et 1.

Suggestion: Culture annuelle: 0 -- ≤ 1
Culture pérenne: 0

RAPPORT C/N DES RACINES:

Définition: Rapport carbone/azote des racines qui demeurent dans le sol après la récolte.

Valeur: Valeur distribuée entre 0 et 200.

RAPPORT C/N DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE:

Définition: Rapport carbone/azote des résidus de récolte qui demeurent sur le sol.

Valeur: Valeur distribuée entre 0 et 200.

PROFONDEUR MAXIMALE DES RACINES:

Définition: Profondeur maximale atteinte par les racines pendant une saison de croissance.

Valeur: Valeur distribuée supérieure ou égale à 0 et inférieure ou égale à 100 m.

PATRON RACINAIRE:

Définition: Géométrie spatiale des racines.

Valeur: Conique (diminution exponentielle de la densité racinaire) / Hémisphérique (diminution linéaire de la densité racinaire) / Cylindrique (densité racinaire constante).

Les racines d'une culture annuelle subissent un cycle de croissance complet durant la saison végétative, c'est-à-dire que les racines croissent de zéro jusqu'au patron racinaire maximal en quelques mois, après lesquels les racines meurent et sont naturellement incorporées à la litière du sol. La croissance racinaire s'effectue de façon constante (relation linéaire) entre l'émergence (profondeur des racines nulle) et la maturité de la plante (profondeur des racines maximale).

Dans le cas d'une culture pérenne considérée "mature", la profondeur racinaire varie peu durant une saison de croissance. Dans ce cas, la densité de racines dans chaque couche est considérée constante tout au long de la période de croissance et correspond à un patron racinaire se rendant jusqu'à la profondeur maximale spécifiée par l'utilisateur.

PROFONDEUR DES RACINES A MATURITÉ (m):

Définition: Profondeur maximale des racines atteinte lors de la maturité de la culture.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 20 m.

Suggestion: Dans le cas où la profondeur des racines à maturité excèderait la profondeur maximale du profil, AgriFlux considèrera la profondeur des racines à maturité comme égale à l'épaisseur du profil défini.

PATRON RACINAIRE:

Définition: Géométrie spatiale des racines.

Valeur: Conique (exponentielle) / Hémisphérique (linéaire) / Cylindrique (constante).

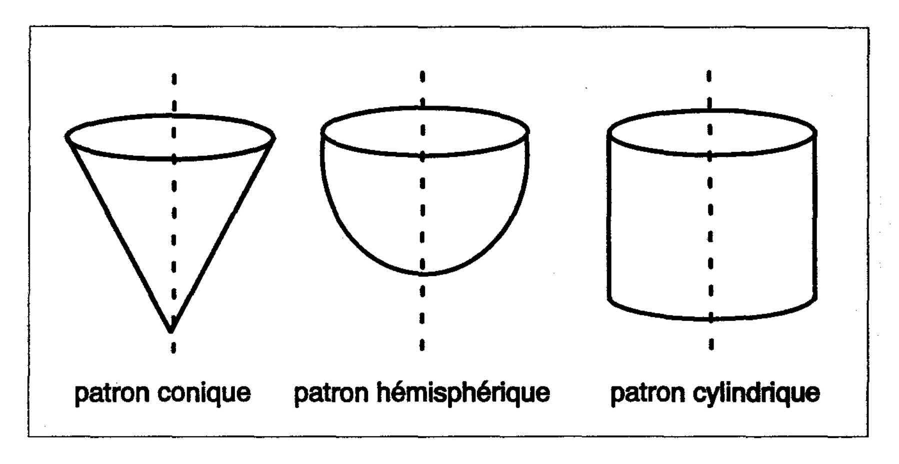


Figure 14. Patrons racinaires types

Lorsque la fenêtre Caractéristiques d'une culture est remplie, en cliquant OK une fenêtre s'ouvre pour identifier les dates de coupes.

Coupes

Coupe # :

Date de coupe : Jour : Mois : Année :

OK Annuler

Figure 15. Fenêtre des coupes

Pour chaque culture, les coupes sont caractérisées l'une après l'autre par ordre chronologique (le numéro de la coupe s'affiche en haut de la fenêtre).

DATE DE COUPE:
Définition: Date à laquelle a lieu la coupe.
Valeur: Jour / Mois / Année.
Suggestion: La date de coupe doit nécessairement être postérieure à la date de début de croissance de la culture. Elle peut se situer avant la date de fin de croissance (particulièrement dans le cas d'une culture pérenne). Elle doit se situer la même année que les autres dates ayant trait à cette culture. Le format utilisé pour l'année (2 ou 4 chiffres) doit être le même pour toutes les dates.

Le bouton OK permet de passer d'une coupe à l'autre tandis que la boîte ANNULER permet de revenir à la coupe antérieure. En cliquant OK dans la fenêtre de la dernière coupe, l'utilisateur revient à la fenêtre CARACTÉRISTIQUES DES CULTURES.

En cliquant le bouton OK à la dernière culture l'utilisateur rappelle la fenêtre CULTURES.

L'utilisateur peut enregistrer les paramètres entrés en cliquant ENREGISTRER et en spécifiant le nom du fichier à sauvegarder. En cliquant ANNULER, il retourne au menu principal.

S'il désire entrer les valeurs pour un autre type de fichier, il faut repasser par NOUVEAU ou OUVRIR.

6.5 Fertilisants

Les amendements peuvent être appliqués en plusieurs doses au cours de l'année, toutes les combinaisons de fertilisants étant permises. Pour chaque amendement, l'utilisateur doit identifier la date d'application, mais le modèle peut déplacer l'application afin qu'elle coïncide avec une période relativement sèche: ceci permet de représenter les conditions réelles d'épandage qui doivent, entre autres, permettre la circulation de la machinerie au champ.

La première fenêtre du fichier Fertilisants pose une seule question (Figure 16):

NOMBRE DE FERTILISATIONS:
Définition: Nombre total de fertilisations pendant toute la durée de la simulation.
Valeur: Valeur ponctuelle comprise entre 0 et 60.
Suggestion: Normalement, il y a 2 ou 3 fertilisations par année (au Québec).

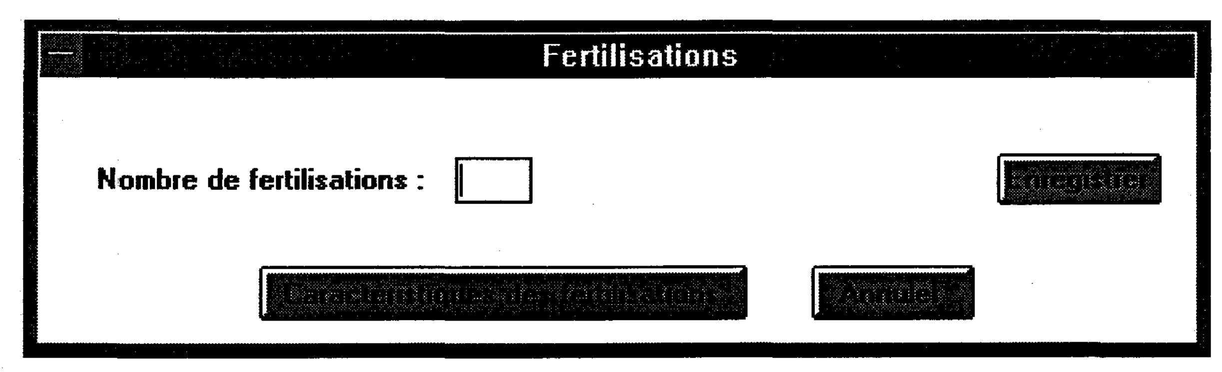


Figure 16. Fenêtre des fertilisations

L'utilisateur peut définir toutes les fertilisations en débutant par la première dans le temps en cliquant CARACTÉRISTIQUES DES FERTILISATIONS, ce qui ouvre la fenêtre correspondante.

Caractéristiques d'une fertilisation

Fertilisation # :

Date d'épandage : Jour : Mois : Année :

Type de fertilisation : ○ Organique ○ Inorganique

FERTILISATION ORGANIQUE :

○ Profondeur d'application (m)

○ Volume d'eau apporté (m³/ha)

○ Contenu en litière (kg N/ha)

○ Contenu en fèces (kg N/ha)

○ Rapport C/N de la litière

○ Rapport C/N des fèces

FERTILISATION INORGANIQUE :

○ Contenu en NH4 (kg N/ha)

○ Contenu en NO3 (kg N/ha)

○ Constante de dissolution (1/j)

OK Annuler

Figure 17. Fenêtre des caractéristiques d'une fertilisation

DATE D'ÉPANDAGE:

Définition: Date à laquelle a lieu la fertilisation.

Valeur: Jour / Mois / Année.

Suggestion: La date du premier épandage doit être postérieure à la date de début de simulation.

TYPE DE FERTILISATION:

Définition: La fertilisation est-elle de type organique (fumier, lisier, purin ou autre fertilisant organique) ou inorganique (engrais chimique)?

Valeur: Organique / Inorganique

Les apports de fumiers sont composés d'une partie de litière (paille ou autre substrat utilisé à l'étable), d'une partie de fèces (déjections animales) et d'une partie sous forme d'azote inorganique (ammonium et nitrates), chacune étant incorporée au réservoir correspondant (LITIÈRE, FÈCES, AMMONIUM ou NITRATES). Pour chaque application, l'utilisateur doit identifier la composition du fumier utilisé. Il doit aussi spécifier si l'apport est incorporé au sol et à quelle profondeur. Les apports de lisiers sont composés d'une très grande proportion d'eau, laquelle est alors incorporée au sol au même titre qu'une pluie. La fraction solide se divise en une partie de fèces et une partie d'azote inorganique (ammonium et nitrates), chacune incorporée au réservoir correspondant. Comme pour le fumier, il appartient à l'utilisateur de définir la composition et la quantité de lisier ainsi que le mode d'application.

Les engrais inorganiques sont généralement composés d'une partie ammoniacale (NH_4^+) et d'une partie nitrique (NO_3^-). L'utilisateur doit identifier la quantité totale appliquée de chaque forme. Une constante de dissolution est aussi requise afin de simuler la dissolution graduelle intervenant lorsque le fertilisant est appliqué sous forme de granules. Cette constante permet de fractionner l'apport en doses constantes étalées sur plusieurs jours.

PROFONDEUR D'APPLICATION (m):

Définition: Profondeur jusqu'à laquelle le fertilisant est incorporé dans le sol.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 m et la profondeur de la dernière couche du profil de sol.

Suggestion: Distribution uniforme ou normale entre 0 et 0.5 m. Si le fertilisant n'est pas incorporé au sol (laissé en surface), il est recommandé d'entrer une profondeur d'application minimale afin que le fertilisant soit intégré au(x) réservoir(s) concerné(s).

VOLUME D'EAU APPORTÉ (m^3/ha):

Définition: Volume d'eau apporté par le fertilisant. Ce paramètre s'applique principalement aux fertilisants très liquides (lisier, purin) pour lesquels le volume d'eau apporté correspond approximativement au volume total de fertilisant appliqué (% de matières sèches faible et densité près de 1000 kg/m^3). Le volume d'eau ainsi apporté est traité comme l'eau précipitée (infiltration, ruissellement).

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 500.

CONTENU EN LITIÈRE (kg N/ha):

Définition: Contenu en azote de la partie ligneuse du fertilisant.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1000.

CONTENU EN FÈCES (kg N/ha):

Définition: Contenu en azote de la partie déjection du fertilisant.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1000.

RAPPORT C/N DE LA LITIÈRE:

Définition: Rapport carbone/azote de la partie ligneuse du fertilisant.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 200.

RAPPORT C/N DES FÈCES:

Définition: Rapport carbone/azote de la partie déjection du fertilisant.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 200.

CONTENU EN NH_4^+ (kg N-NH_4^+/ha):

Définition: Contenu en ammonium du fertilisant organique ou inorganique.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 300.

CONTENU EN NO_3^- (kg N-NO_3^-/ha):

Définition: Contenu en nitrates du fertilisant organique ou inorganique.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 300.

CONSTANTE DE DISSOLUTION (1/jour):

Définition: Taux de dissolution de l'engrais inorganique. L'apport total est multiplié par la constante de dissolution pour générer un apport égal réparti sur un certain nombre de jours. Le même taux de dissolution est utilisé pour la partie ammoniacale et la partie nitrique de l'apport inorganique.

Valeur: Valeur distribuée comprise entre 0 et 1.

L'utilisateur peut définir la fertilisation suivante en cliquant OK. En tout temps, il peut revenir en arrière en cliquant la boîte ANNULER. Le bouton OK de la dernière fertilisation rappelle la fenêtre FERTILISATIONS, où l'utilisateur peut enregistrer le fichier (ENREGISTRER) ou revenir au menu principal (ANNULER).

6.6 Simulations

Le fichier Simulation permet d'identifier tous les paramètres nécessaires à l'exécution du programme.

Définition de la simulation

Nombre de simulations :

Date de début de simulation : Jour : Mois : Année :

Date de fin de simulation : Jour : Mois : Année :

Jour pour l'état des réservoirs : Jour : Mois :

OPTIONS :

Cultures : ○ OUI ○ NON

Azote : ○ OUI ○ NON

Fertilisants : ○ OUI ○ NON

Pesticides : ○ OUI ○ NON

Enregistrer Annuler

Figure 18. Fenêtre de définition de la simulation

NOMBRE DE SIMULATIONS:

Définition: Nombre de simulations stochastiques de type Monte-Carlo.

Valeur: Valeur ponctuelle entre 1 et 1000.

Suggestion: Plus le nombre de simulations est élevé, plus la distribution des résultats est représentative des paramètres d'entrée. Pour une simulation rapide, effectuer 100 simulations, pour plus de précision, effectuer 1000 simulations.

DATE DE DÉBUT DE SIMULATION:

Définition: Date à laquelle la simulation doit commencer.

Valeur: Jour / Mois / Année.

Suggestion: Il est préférable de débuter une simulation à l'automne ou au printemps afin de ne pas couper la période hivernale ou une saison de croissance en deux. Il est absolument nécessaire de débuter la simulation avant l'émergence de la première culture et avant la première fertilisation. La date de début de simulation doit être antérieure à la date de fin de la simulation.

DATE DE FIN DE SIMULATION:

Définition: Date à laquelle la simulation doit se terminer.

Valeur: Jour / Mois / Année.

Suggestion: Une simulation peut se terminer **avant** la fin des cultures ou des fertilisations. Les cultures et les fertilisations subséquentes ne seront simplement pas simulées. La date de fin de simulation doit être postérieure à la date de début de simulation.

JOUR ÉTAT DES RÉSERVOIRS:

Définition: Jour auquel l'utilisateur désire connaître le contenu carbone et en azote des différents réservoirs. L'état des réservoirs au début et à la fin de la simulation est aussi donné automatiquement.

Valeur: Jour (2 chiffres) / Mois (2 chiffres).

Suggestion: Pour une meilleure visualisation des résultats, il est recommandé de choisir une date autre que les dates de début ou de fin de simulation.

OPTION CULTURES:

Définition: L'utilisateur désire-t-il inclure des cultures dans sa simulation?

Valeur: OUI / NON.

OPTION AZOTE:

Définition: L'utilisateur désire-t-il simuler le cycle de l'azote?

Valeur: OUI / NON.

OPTION FERTILISANTS:

Définition: L'utilisateur désire-t-il appliquer des fertilisants durant la simulation?

Valeur: OUI / NON.

Suggestion: Choisir OUI uniquement si l'option Azote est retenue.

OPTION PESTICIDES:
Définition: Cette option n'est pas disponible dans la présente version (1.0) du logiciel

Après avoir répondu aux questions, l'utilisateur doit enregistrer le fichier simulation (nommé *.SIM) ainsi créé en cliquant OK. En cliquant ANNULER, l'utilisateur revient au menu EXÉCUTION sans enregistrer.

7. SIMULATION

Il est possible de faire une simulation en choisissant le menu EXÉCUTION du menu principal. Ce menu contient trois items, soit le choix d'un fichier Simulation, le choix des autres fichiers nécessaires et l'exécution d'une simulation.

7.1 Définition de la simulation

La commande DÉFINIR LA SIMULATION permet de choisir le fichier Simulation (section 6.6) contenant tous les paramètres qui définissent le scénario voulu. En cliquant cet item, une liste contenant tous les fichiers *.SIM du répertoire par défaut s'affiche.

7.2 Choix des fichiers de simulation

La commande CHOISIR LES FICHIERS permet d'identifier les noms des fichiers nécessaires à la simulation. Les fichiers *.SOL et *.CLI sont essentiels à toute simulation. Le fichier *.CLT est requis si l'option cultures est activée tandis que les fichiers *.AZO et *.FER sont nécessaires uniquement dans le cas où le module NitriFlux est demandé. Il est bon de rappeler que l'utilisateur doit choisir des fichiers compatibles au niveau des dates, du nombre de couches, des options, etc. S'il y a incompatibilité, un message d'erreur s'affichera et l'exécution n'aura pas lieu.

En cliquant sur le type de fichier, une fenêtre de sélection de fichier s'ouvre. L'utilisateur doit y spécifier le nom du fichier voulu ou choisir dans la liste. Lorsque les fichiers sont choisis, leurs noms s'affichent entre parenthèses à côté du type de fichier dans le sous-menu "Choisir les fichiers". Si le fichier *.SIM choisi a déjà été utilisé pour faire une simulation, les noms des fichiers utilisés la dernière fois s'affichent à cet endroit. L'utilisateur a toute liberté pour modifier la combinaison de fichiers voulus, à condition de respecter leur compatibilité.

7.3 Exécution de la simulation

Après avoir passé par les commandes DÉFINIR LA SIMULATION et CHOISIR LES FICHIERS D'ENTRÉE, l'utilisateur peut lancer la simulation en cliquant la commande EXÉCUTION ou en enfonçant la touche F10. L'icone d'AgriFlux s'affiche au centre de l'écran pendant la durée des calculs.

8. VISUALISATION DES RÉSULTATS

Le menu RÉSULTATS contient les options nécessaires à la mise en forme et à la visualisation des résultats.

8.1 Opérations sur les fichiers résultats

La commande FICHIERS - OPÉRATIONS permet de faire des opérations mathématiques sur certains fichiers.

8.1.1 Création de fichiers cumulés

L'option ACCUMULATION permet de calculer les flux cumulés d'eau et de nitrates ruisselés, lessivés et drainés. En cliquant cette option, la fenêtre ACCUMULATION s'ouvre.

ACCUMULATION:
Définition: L'utilisateur désire-t-il effectuer une cumulation annuelle ou mensuelle des flux?
Valeur: Annuelle / Mensuelle.
Suggestion: Pour une meilleure visualisation des résultats, il est recommandé de cumuler de façon mensuelle dans le cas d'une courte simulation (1 ou 2 ans) et de façon annuelle dans le cas d'une simulation plus longue (plus de 2 ans).

NOM DU FICHIER SOURCE:
Définition: Nom et extension du fichier devant être cumulé.
Valeur: Fichiers flux (eau et nitrates ruisselés, lessivés et drainés).

NOM DU FICHIER CUMULÉ:
Définition: Nom du fichier cumulé sans extension.
Valeur: Nom d'un maximum de huit caractères (l'extension est incluse automatiquement par le logiciel selon la nature du fichier source).

L'utilisateur peut enregistrer le tout en cliquant OK ou revenir au menu principal en cliquant ANNULER.

8.1.2 Création de fichiers de concentrations

L'option CONCENTRATION permet de calculer la concentration en nitrates dans les différents flux d'eau (ruissellement, lessivage et drainage). En cliquant cette option, une fenêtre CONCENTRATION s'ouvre.

FICHIER DE FLUX D'EAU:
Définition: Nom et extension du fichier de flux d'eau utilisé dans le calcul de la concentration.
Valeur: Fichiers de flux d'eau seulement (eau ruisselée, drainée et lessivée).

FICHIER DE FLUX DE NITRATES:
Définition: Nom et extension du fichier de flux de nitrates utilisé dans le calcul de la concentration.
Valeur: Fichiers de flux de nitrates seulement (nitrates ruisselés, drainés et lessivés).
Suggestion: Les fichiers de flux d'eau et de nitrates utilisés dans le calcul de la concentration doivent être de longueur égale (même nombre de jours) et correspondre aux résultats d'une même simulation.

FICHIER DE CONCENTRATION:
Définition: Nom (sans extension) du fichier de concentration à créer.
Valeur: Nom d'un maximum de huit caractères (l'extension est incluse automatiquement par le logiciel selon la nature des fichiers sources).

La boîte OK permet de mémoriser les noms de fichiers et la boîte ANNULER permet de retourner au menu principal.

8.2 Mise en forme des résultats

L'item GRAPHIQUES permet de faire la mise en forme des résultats sous forme graphique.

8.2.1 Sélection du fichier à visualiser

Il est nécessaire de passer par la commande CHOIX DU FICHIER (ou F2) pour sélectionner le fichier à visualiser. Tous les fichiers résultats sont disponibles (voir section 3.2.2 pour extensions), incluant les fichiers créés par l'intermédiaire de l'option FICHIERS - OPÉRATIONS. En cliquant cette option, une fenêtre s'ouvre dans laquelle il faut spécifier la localisation, le nom et l'extension du fichier voulu ou choisir parmi les fichiers présentés.

8.2.2 Type de graphique

L'option CHOIX DU GRAPHIQUE permet d'identifier le type de graphique voulu. Dans la présente version d'AgriFlux, les fichiers contenant des flux ou des concentrations sont présentés sous forme d'un graphique de type XY par défaut, mais l'utilisateur peut aussi choisir de les visualiser sous forme d'un graphique de type XY cumulé. Les fichiers contenant des flux cumulés ou des contenus de réservoirs sont présentés sous forme d'un histogramme par défaut, aucune autre option n'étant actuellement disponible.

8.2.3 Format des graphiques

L'option DESCRIPTION DU GRAPHIQUE permet de définir le format du graphique. L'utilisateur peut ainsi identifier un titre, un sous-titre, un titre pour l'axe X et pour l'axe Y. Il peut aussi spécifier quelle portion de l'axe X il désire visualiser (zoom).

8.3 Visualisation des résultats

L'item VISUALISER permet de visualiser le graphique créé à l'écran (F3) ou d'en faire l'impression (F6).

9. ? (AIDE ET INFORMATIONS)

Sous la rubrique **?** du menu principal, l'utilisateur trouvera le menu d'aide ainsi que certaines informations à propos du logiciel.

9.1 Informations

Cet item permet d'avoir accès à l'adresse des développeurs d'AgriFlux et du Ministère de l'Environnement pour lequel le logiciel AgriFlux a été développé. L'utilisateur y retrouvera aussi l'avertissement mentionné à la section 2.3.

Informations importantes

AgriFlux
Version 1.0

Développé par :

Olivier Banton
Marie Larocque
Fabienne Surateau
Jean-Pierre Villeneuve

INRS - EAU Août 1993

INRS - EAU
2800 rue Einstein, CP 7500
Sainte-Foy, QC
G1V 4C7
a/s Olivier Banton
Tél : (418) 654-2589
Fax : (418) 654-2600

Ministère de l'Environnement du Québec
Direction de la Recherche
2360 chemin Sainte-Foy
Sainte-Foy, QC
G1V 4H2
Tél : (418) 646-9276
Fax : (418) 646-9262

Avertissement :

L'utilisateur assume tous les risques et responsabilités découlant de l'utilisation et de l'application du logiciel AgriFlux, incluant l'interprétation des résultats.

OK

Figure 19. Fenêtre d'informations importantes

9.2 Aide

Le menu d'aide sera disponible dans une version subséquente du logiciel.

9.3 À propos de...

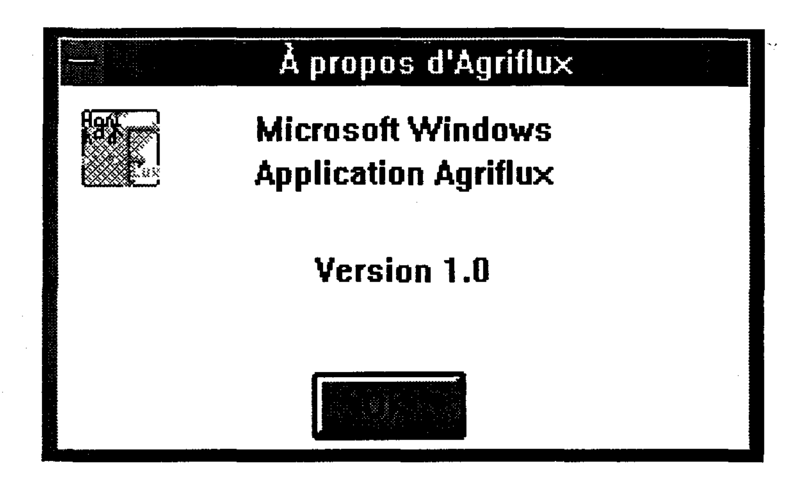


Figure 20. Fenêtre À propos d'AgriFlux

10. DESCRIPTION TECHNIQUE

AgriFlux est un modèle mécanistique, c'est-à-dire qu'une représentation physique est utilisée pour chacun des processus. Certains processus sont représentés de la façon la plus généralement retrouvée dans la littérature et reconnue comme représentative. Cependant, d'autres représentations ont parfois été élaborées spécifiquement pour AgriFlux en raison soit de la spécificité de l'application de type gestion de l'outil (simplification des processus ou des paramètres utilisés) soit des lacunes ou des inadéquations des représentations retrouvées dans la littérature. Les paragraphes suivants décrivent les concepts théoriques utilisés dans AgriFlux.

10.1 Température

10.1.1 Température du sol

La température du sol influence les vitesses de réactions biochimiques du cycle de l'azote. Il est donc nécessaire de la connaître de façon journalière (pas de temps utilisé dans les calculs) et pour chaque couche de sol.

Dans AgriFlux, l'évolution de la température aux différentes profondeurs du sol est représentée à l'aide d'une fonction d'amortissement de la répartition sinusoïdale annuelle de la température de l'air (Richter, 1987). Cette relation amortit et déphase la fonction sinusoïdale selon les caractéristiques du sol suivant l'équation suivante:

$$T(z,t) = T_{moy} - T_{ampl} * e^{-z/z0} * \cos(\omega * (t-t_{ph}) - z/z_0)$$

T_{moy}: température moyenne de l'air (°C) = somme (Tmoy.mens)/12
T_{ampl}: amplitude annuelle des températures de l'air (°C) = (Tmax - Tmin)/2
z: profondeur au milieu de la couche (m)
z_0: profondeur d'amortissement (m)
t: temps (jour)
t_{ph}: déphasage du cycle (jour le plus froid de l'année)
ω: fréquence du cosinus (1 an = 2*π/365)

Les températures de l'air requises sont les 12 moyennes mensuelles pour la région étudiée. Le déphasage du cycle est le jour où la température est la plus froide dans l'année (début de la fonction sinusoïdale), habituellement vers la fin du mois de janvier au Québec.

La profondeur d'amortissement, z_0, est définie mathématiquement comme la profondeur à laquelle l'amplitude diminue dans une proportion de 1/e par rapport à la surface (Musy et Soutter, 1991).

$$z_0 = ((2 * K_{th}) / (C_{th} * \omega * 86400))^{1/2}$$

K_{th}: conductivité thermique ($J \cdot m^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot s^{-1}$)
C_{th}: capacité thermique volumique ($J \cdot m^{-3} \cdot °C^{-1}$)

La conductivité thermique représente la résistance d'un matériau à la propagation de la chaleur par conduction thermique, exprimant sa capacité à transmettre la chaleur d'un point à l'autre (Musy et Soutter, 1991). Ce paramètre étant rarement mesuré au champ, il est nécessaire de pouvoir l'estimer à partir d'informations limitées. Le modèle AgriFlux réalise lui-même cette estimation à partir de la formule empirique fournie par Horton et Chung (1991):

$$K_{th} = B_1 + \theta * B_2 + \theta^{0.5} * B_3$$

B_i: coefficients qui varient selon la composition en sable, limon et argile du sol
θ: teneur en eau initiale du sol (capacité au champ)

La capacité thermique volumique est la capacité d'emmagasinement de chaleur d'un corps par unité de volume et de température (Musy et Soutter, 1991). Ce paramètre est lui aussi estimé automatiquement par le modèle à partir des caractéristiques du sol (Jansson, 1991):

$$C_{th} = (1 - n) * C_{th}(sol) + \theta * C_{th}(eau)$$

n: porosité (m^3/m^3)
θ: teneur en eau initiale du sol (capacité au champ)
$C_{th}(sol)$: $2*10^6$ $J \cdot m^{-3} \cdot °C^{-1}$
$C_{th}(eau)$: $4.18*10^6$ $J \cdot m^{-3} \cdot °C^{-1}$

Pendant l'hiver au Québec, la couverture de neige agit comme un isolant sur le sol, diminuant l'influence des températures de l'air et limitant la propagation du froid en profondeur. La fonction sinusoïdale décrite plus haut, qui génère des températures du sol inférieures au point de congélation pendant la période hivernale, n'est donc pas adaptée pour cette saison lorsqu'il y a présence de neige au sol. Une relation différente est donc utilisée pour la période de l'année durant laquelle il y a neige au sol. En

admettant qu'il y a accumulation de neige dès le moment où la température de l'air passe sous 0°C, on peut alors appliquer la relation de Bolt et al (1966) développée pour représenter un changement soudain de température à une extrémité d'une colonne de sol à température homogène. Dans notre cas de figure, nous considérons comme température initiale celle de la couche de sol concernée au moment où la température de surface passe en dessous de 0°C. La température appliquée à l'extrémité supérieure du sol est alors 0°C, correspondant à la température de la neige à la surface du sol. La relation correspondante est:

$$(T - T_i) / (T_0 - T_i) = \text{erfc}\ (z / (2 * (\alpha * t)^{0.5})$$

T: température du sol (°C)
T_i: température initiale du sol (°C)
T_0: température à la limite = 0°C
z: profondeur au milieu de la couche (m)
α: diffusivité thermique (conductivité thermique / capacité thermique)
erfc: erreur fonction complémentaire (Abramovitz et Stegun, 1972)

Les deux fonctions n'étant pas continues entre elles, les températures journalières utilisées sont les plus élevées des deux températures calculées par chacune des équations.

10.1.2 Température de l'air

La température journalière de l'air est nécessaire pour identifier les deux jours (automne et printemps) où celle-ci passe par le point de congélation (0°C) et pour effectuer le calcul de la fonte de neige (voir paragraphe 10.3.2). Puisque les températures moyennes mensuelles de l'air sont utilisées pour le calcul des températures du sol et puisque les deux méthodes doivent être compatibles, l'approche choisie pour simuler les températures de l'air est dérivée de l'équation utilisée pour les températures du sol:

$$T(z,t) = T_{moy} - T_{ampl} * \sin(\omega * (t-t_{ph}))$$

10.2 Croissance des racines

La croissance des racines est simulée lorsque l'option culture est employée.

Le prélèvement d'eau et d'azote par la plante est fonction de la densité de racines dans chaque couche. Il est donc nécessaire d'identifier le patron racinaire afin d'évaluer la fraction du prélèvement potentiel dans chaque couche. Le patron de densité racinaire dans le sol varie selon l'espèce cultivée. Dans la littérature, on reconnaît que la densité

racinaire décroît à partir de la surface. Dans AgriFlux, les profils racinaires sont définis en trois dimensions: un patron racinaire conique (dans lequel la densité racinaire diminue de façon exponentielle avec la profondeur), un patron racinaire hémisphérique (dans lequel la densité racinaire diminue de façon linéaire avec la profondeur) ou un patron racinaire cylindrique (dans lequel la densité racinaire est constante sur toute la profondeur du profil). Il appartient à l'utilisateur de spécifier le patron racinaire de chaque culture simulée (Figure 14).

10.3 Bilan hydrique

Les processus décrits dans les paragraphes suivants font partie du module HydriFlux.

10.3.1 Précipitations

Les précipitations constituent l'apport principal d'eau au sol et sont nécessaires pour les calculs des quantités d'eau qui s'infiltrent et ruissellent chaque jour.

Afin d'éviter à l'utilisateur la tâche fastidieuse d'entrer les précipitations journalières pour toutes les années d'une simulation et afin d'intégrer la variabilité temporelle des précipitations dans l'approche évaluative de gestion, AgriFlux utilise une technique de génération aléatoire des précipitations journalières basée sur les caractéristiques statistiques de celles-ci. Cette méthode de génération aléatoire a été développée spécifiquement pour AgriFlux et s'adapte parfaitement aux conditions de précipitations du Québec. Pour des applications à d'autres climats de caractéristiques très différentes, ces performances pourraient varier. Cette approche permet de générer un grand nombre d'années de précipitations journalières à partir d'un nombre limité d'informations. Elle permet aussi de générer aléatoirement les extrêmes statistiques secs ou humides.

Cette approche est basée sur certaines particularités de la distribution temporelle des précipitations valables dans la plupart des climats. Premièrement, les précipitations journalières suivent (à l'intérieur de chaque mois) une distribution exponentielle. Cette loi de distribution exponentielle est caractérisée par un seul paramètre correspondant à l'inverse de la moyenne arithmétique de ces précipitations. Deuxièmement, la répartition saisonnière des précipitations est bien représentée par les valeurs mensuelles moyennes. Troisièmement, pour les climats tempérés humides, le nombre mensuel moyen de jours de précipitations peut être considéré comme constant durant l'année. Finalement, la probabilité d'occurrence d'une journée de précipitations est assez faiblement reliée aux conditions de précipitations de la veille.

A partir de ces constatations, la génération aléatoire des précipitations est réalisée en deux étapes.

Premièrement, une suite de jours secs et pluvieux est générée à partir d'un tirage aléatoire basé sur le nombre annuel moyen de jours de précipitations. Cette méthode purement aléatoire génère pour une année un nombre de jours de précipitations qui suit une distribution normale centrée sur le nombre annuel moyen de jour de pluie déclaré.

Deuxièmement, on génère une valeur de densité de probabilité normalement distribuée (entre 0 et 1) pour chacun des jours de précipitations. À cette valeur de probabilité correspond une hauteur de précipitation exponentiellement distribuée. L'équation utilisée est la suivante:

$$F = 1 - e^{-\lambda * x} \text{ (fonction de répartition)}$$
$$X = -\ln (1 - F) / \lambda \text{ (fonction de répartition inverse)}$$

F: fonction de probabilité de réalisation de l'événement X
X: événement de probabilité F
λ: 1 / précipitation mensuelle

Cette approche ne nécessite ainsi que les 12 valeurs de précipitations moyennes mensuelles et le nombre de jours de précipitations par année. Les précipitations moyennes mensuelles sont les mêmes pour toute la durée d'une simulation, mais puisque le nombre de jours de précipitations et la suite de jours secs et pluvieux varient de façon aléatoire, les précipitations journalières sont différentes pour chaque année de simulation. Pour les climats dont les caractéristiques de répartition seraient très différentes de celles des pays tempérés humides (tel le Québec), il est à noter que la précipitation mensuelle serait adéquate, mais que le nombre mensuel de jours de pluie pourrait être inadéquat.

10.3.2 Fonte de la neige

Au Québec, la fonte de neige printanière constitue un apport d'eau important à la surface du sol. Au même titre que les précipitations, la fonte est à la base des calculs de ruissellement et d'infiltration. Durant la période de fonte, il est nécessaire de connaître pour chaque jour la hauteur d'eau rendue disponible.

L'approche par degrés-jours est utilisée dans AgriFlux. Cette méthode d'évaluation de la fonte est relativement simple, utilisant seulement la température de l'air comme facteur global représentant l'influence combinée des radiations, du vent, de la pluie et des échanges thermiques (Linsley et al, 1975). Cette approche est utilisée dans de nombreux modèles hydrologiques. Elle est représentée par l'équation suivante.

$$\text{Fonte} = K * T$$

K: taux de fonte journalier ($mm \cdot {}^{o}C^{-1} \cdot jour^{-1}$)
T: température moyenne journalière de l'air (°C)

On admet que les précipitations s'accumulent sous forme de neige à partir du moment où la température de l'air passe sous zéro à l'automne et ce, jusqu'au jour où la température de l'air devient supérieure à zéro au printemps. À ce moment (début de la fonte), un facteur de réduction est appliqué à la quantité totale de précipitations tombées pendant la période hivernale, afin de représenter approximativement l'état printanier du couvert de neige (pertes par évaporation et balayage par le vent). Plus précisément, ce facteur représente la fraction d'équivalent d'eau des précipitations totales de l'hiver qui reste au champ lorsque la fonte débute. Il ne représente donc pas le phénomène de compaction de la neige qui ne modifie nullement le contenu en eau de la couche de neige. L'utilisateur doit donc être attentif à fournir une valeur adéquate. Le même taux de fonte et le même facteur de neige résiduelle sont utilisés pour toutes les années d'une simulation.

Le mûrissement du stock de neige a été ajouté à la méthode des degrés-jours afin de décaler le début de la fonte de quelques jours (Linsley et al, 1975). Les premiers jours de fonte servent à saturer le stock de neige. L'eau de fonte s'accumule ainsi dans la couche de neige jusqu'à ce que la rétention globale atteigne un certain pourcentage de l'équivalent en eau de la neige. Au-delà de ce seuil, l'eau percole librement vers le sol où elle peut s'infiltrer de la même façon qu'une précipitation. Le pourcentage d'eau retenue dans le stock de neige est fixé dans HydriFlux à 10%, tel qu'utilisé par Brandt (1990).

10.3.3 Infiltration et ruissellement

Le module de calcul de l'infiltration intègre les apports d'eau (précipitations et fonte de neige) et génère la quantité d'eau qui pénètre dans la première couche du profil de sol. Le calcul de l'infiltration fournit le volume d'eau qui s'infiltre dans le sol à chaque jour. Le volume d'eau qui ne peut pas s'infiltrer représente le ruissellement.

Dans différents modèles, l'infiltration est souvent représentée comme l'apport total d'eau duquel est soustrait le ruissellement. À cause de l'échelle parcellaire utilisée dans le présent modèle, une approche différente a été appliquée. Cette approche est basée sur le calcul de l'infiltration plutôt que sur celui du ruissellement. L'infiltration est calculée comme étant la valeur minimale entre le volume d'apport (précipitations et fonte) et le volume d'eau qui peut s'infiltrer dans la première couche. Le ruissellement a lieu lorsque la couche supérieure du profil de sol est saturée et ne peut donc plus recevoir d'eau. Si la pente du terrain est supérieure à 0, l'eau excédentaire est alors entièrement ruisselée.

À l'opposé, si la pente du terrain est nulle, l'eau excédentaire s'accumule à la surface et peut s'infiltrer le jour suivant si les teneurs en eau de la première couche le permettent. Une évaluation approximative de la pente du terrain est donc suffisante dans cette représentation.

10.3.4 Prélèvement d'eau par la plante

Le prélèvement d'eau par la plante est la quantité d'eau extraite par les racines pour satisfaire les besoins en eau de la plante. Ce prélèvement permet d'établir le bilan en eau de chaque couche de la zone racinaire pour chaque jour.

Dans HydriFlux, la courbe de prélèvement d'eau par la plante est associée à une courbe normale (Figure 22). Les caractéristiques connues de la culture permettent de définir entièrement la courbe (limitée arbitrairement de part et d'autre de la valeur centrale à trois écarts-types). Dans le cas d'une culture annuelle, la courbe s'étale entre l'émergence et la maturité, tandis que dans le cas d'une culture pérenne, elle s'applique entre le début et la fin de la période de croissance. Pour une culture pérenne coupée, il y a autant de cloches successives qu'il y a de coupes durant l'été. La méthode de calcul considère ces bornes temporelles comme les valeurs à trois écarts-types, et le prélèvement annuel total d'eau comme l'intégrale sous la courbe.

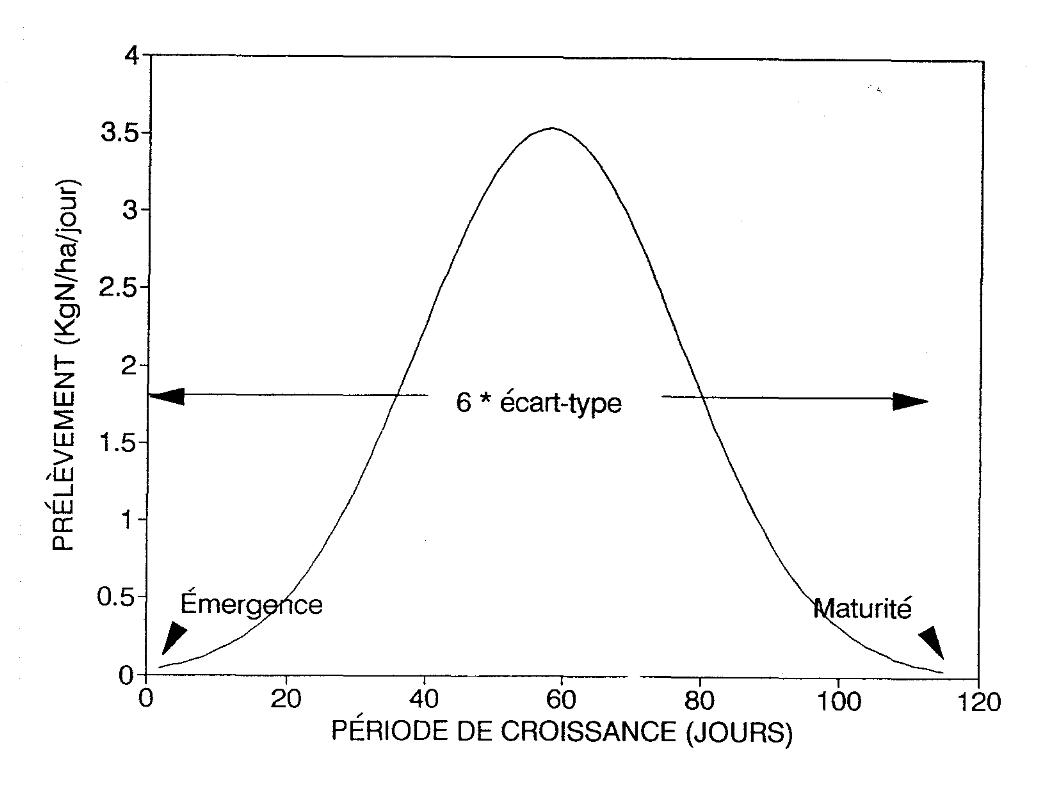


Figure 21. Prélèvement d'eau journalier

L'équation suivante représente une approximation de la fonction de répartition d'une normale centrée-réduite:

$$\Phi(x) \approx (1 + \exp(-1.5976 * z \;\; * (1 + 0.04417 * z^2)))^{-1}$$

Φ:	fonction de répartition d'une gaussienne centrée-réduite
z:	$(x - \mu) / \sigma$
μ:	(maturité - émergence) / 2
σ:	(maturité - émergence) / 6

Le prélèvement potentiel pour un jour "j" est calculé en multipliant la probabilité de se trouver entre le jour "j-1" et le jour "j" par le besoin total d'eau pour toute la période de croissance:

$$\text{Prélpot} = P(j) * \text{BesoinE}$$

P(j):	fraction du prélèvement potentiel du jour j $P(j-1 \leq X \leq j) = \Phi(j) - \Phi(j-1)$
Prélpot:	prélèvement potentiel total qui a lieu au jour j (m)
BesoinE:	besoin potentiel en eau pour toute la saison de croissance

Le prélèvement potentiel total ainsi calculé est extrait de chacune des couches de sol en proportion de la fraction de racines (section 3.4) qui s'y trouve.

$$\text{Prél}(z) = \text{Prélpot} * \text{fraction}(z)$$

Prél(z):	prélèvement d'eau de la couche z
fraction(z):	fraction de racines dans la couche z

De plus, l'approche utilisée permet de gérer un déficit de prélèvement d'eau. Le déficit est accumulé durant sept jours consécutifs au-delà desquels, il est considéré que le manque d'eau du premier jour déficitaire ne peut plus être comblé par un apport subséquent. Ce déficit est accumulé pour toutes les couches et peut être comblé par un prélèvement d'eau dans n'importe quelle couche où l'eau est disponible. Toutefois, l'effet du déficit d'eau sur la croissance de la plante n'est pas considéré.

10.3.5 Évaporation

L'évaporation est le transfert d'eau des couches superficielles du sol vers l'atmosphère géré par le gradient d'humidité. Ce processus est considéré dans le modèle comme intervenant après le prélèvement d'eau par la plante. Il est effectué en fonction du volume potentiel d'eau à évaporer du sol chaque jour.

L'approche utilisée dans HydriFlux consiste à soustraire du sol les volumes d'eau nécessaires pour satisfaire l'évaporation potentielle journalière jusqu'à une profondeur maximale déterminée par l'utilisateur. Dans HydriFlux, l'évaporation potentielle journalière est obtenue en divisant l'évaporation potentielle mensuelle des mois où il y a évaporation par le nombre de jours du mois. Chaque jour, un volume d'eau est soustrait de la première couche, correspondant au minimum entre l'évaporation potentielle journalière et l'eau disponible dans cette couche (la teneur en eau d'une couche ne peut pas descendre sous le point de flétrissement). Si l'évaporation potentielle n'a pu être comblée, l'eau est extraite de la couche suivante, et ainsi de suite jusqu'à la profondeur maximale d'évaporation. Les évaporations potentielles journalières sont les mêmes pour toutes les années simulées.

Afin de représenter adéquatement l'évapotranspiration (combinaison de l'évaporation du sol et du prélèvement par les plantes), lorsqu'il y a une culture en croissance l'évaporation potentielle est réduite à la différence entre l'évapotranspiration calculée à partir des données entrées par l'utilisateur et le prélèvement potentiel par la plante. Dans le cas d'un résultat négatif, l'évaporation potentielle du sol est nulle.

10.3.6 Percolation

La percolation est le transport vertical de l'eau entre les couches du sol et vers la nappe phréatique. Les teneurs en eau et les flux d'eau journaliers entre les couches permettent le calcul du bilan hydrique et sont nécessaires à l'évaluation de la migration des nitrates.

L'approche utilisée dans HydriFlux est de type conceptuel mécanistique. Elle est en effet basée sur une représentation des mécanismes physiquement simplifiée de manière à être plus facilement modélisable mathématiquement. Chaque couche de sol est définie comme un réservoir (voir Figure 23). L'eau peut s'accumuler dans une couche jusqu'à ce que tous les pores soient saturés. Si la teneur en eau dépasse la capacité au champ, l'excédent peut s'écouler par gravité vers la couche suivante. Sous la capacité au champ, l'eau ne s'écoule pas mais peut être prélevée par les plantes (dans la zone racinaire) ou évaporée (dans la zone d'évaporation). La teneur en eau d'une couche ne peut cependant descendre sous le point de flétrissement car en-deçà de celui-ci l'eau est retenue fortement au sol et non déplaçable par prélèvement ou évaporation.

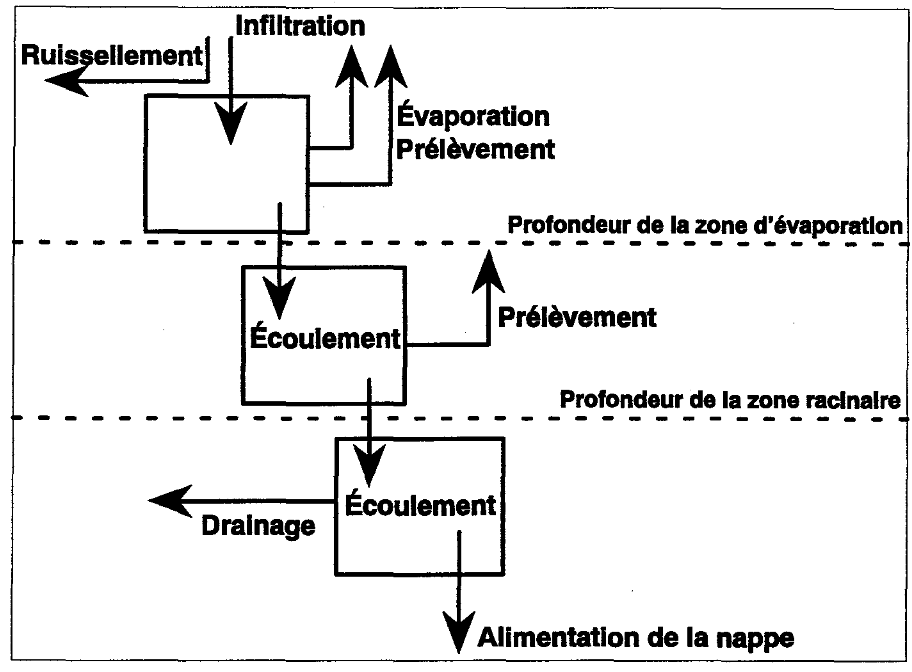


Figure 22. Modèle par réservoirs

L'écoulement d'une couche à la suivante s'effectue à la vitesse déterminée par la conductivité hydraulique non saturée de la première couche. Si le volume qui peut s'écouler dans une journée (i.e. quitter la première couche) excède le volume d'eau que peut recevoir la couche suivante (sans excéder sa porosité), c'est ce dernier volume (le minimum des deux écoulements possibles) qui représente la percolation. La variation de la conductivité hydraulique non saturée en fonction de la teneur en eau est calculée à l'aide de la relation suivante (Bear, 1988):

$$K(\theta) = K_{sat} * ((\theta - \theta_{cap}) / (n - \theta_{cap}))^3$$

$K(\theta)$: conductivité hydraulique non-saturée (m/j)
K_{sat}: conductivité hydraulique saturée (m/j)
θ: teneur en eau de la couche (m^3/m^3)
n: porosité (m^3/m^3)
θ_{cap}: capacité au champ (m^3/m^3)

Tel que mentionné à la section 6.1, la position (minimale) de la nappe phréatique est la plus grande profondeur atteinte par la nappe pendant l'année. Le modèle gère la remontée de la nappe au-dessus de ce niveau. L'utilisateur doit spécifier si l'écoulement est non restreint en profondeur ou si au contraire la position de la nappe correspond à une couche imperméable. Dans le premier cas, l'eau qui arrive à cette profondeur recharge sans restriction la nappe. Dans le second cas, l'écoulement vertical est impossible et l'eau est drainée (s'il y a des drains agricoles) ou s'accumule dans le profil.

10.3.7 Drainage

Le drainage artificiel de l'eau est une composante importante du bilan hydrologique de nombreux sols agricoles. Le drainage agricole vise généralement à rabattre la nappe d'eau souterraine sous la zone racinaire afin d'allouer une aération suffisante pour les racines. Ceci s'effectue à l'aide d'un système de drains disposés horizontalement à intervalles réguliers dans le sol. Ces drains, en évacuant l'eau, entraînent aussi les nitrates et pesticides dissous. Le calcul du drainage doit représenter le rabattement de la nappe, et calculer les flux d'eau et d'azote journaliers correspondant. Il doit aussi tenir compte de l'écoulement vers la nappe profonde d'une partie de l'eau.

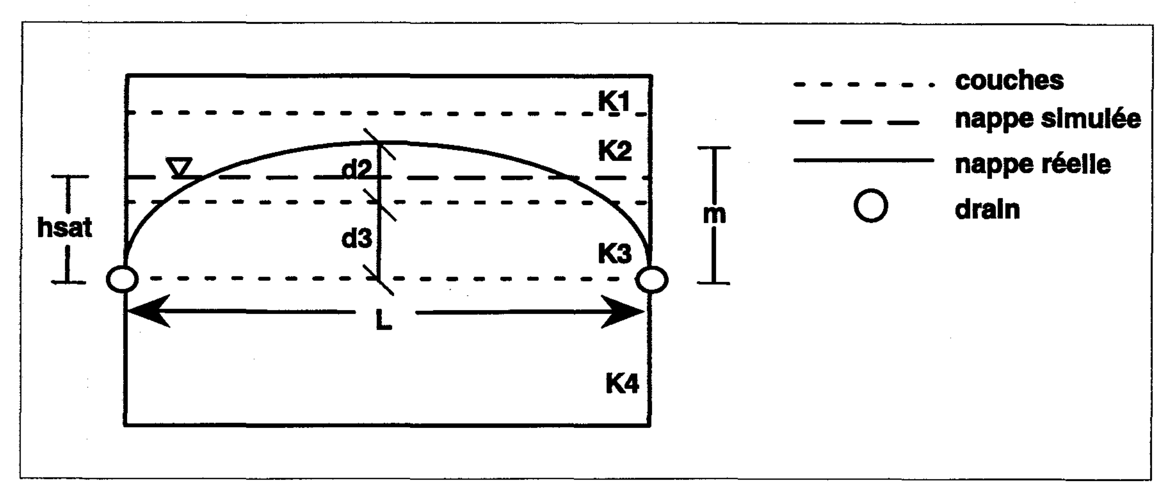


Figure 23. Schéma du drainage

L'approche développée dans HydriFlux considère que les écoulements de la zone saturée soumise à l'effet de drains parallèles confèrent à cette zone saturée la forme d'une demi-ellipse. La surface sous cette demi-ellipse doit être identique à celle du rectangle résultant de la hauteur saturée (au dessus des drains telle que calculée dans HydriFlux) et la distance entre les drains (Figure 24). La hauteur de la demi-ellipse résultante est calculée par les équations suivantes:

$$A_e = \pi * m * L/2 * 1/2$$

A_e: aire de la demi-ellipse (m^2)
m: demi petit axe de la demi-ellipse (m)
L/2: demi grand axe de la demi-ellipse ou demi-distance entre les drains (m)

$$A_r = h_{sat} * L$$

A_r: aire du rectangle (m^2)
h_{sat}: hauteur d'eau saturée au dessus des drains (m)
L: distance entre les drains (m)

$$\text{d'où:} \quad m = 4 * hsat / \pi$$

Le flux d'eau évacué par les drains est alors calculé à l'aide d'une simplification de l'équation proposée par Bouwer et van Schilfgaarde (1963):

$$Q = (4 * K_e * m^2) / L^2$$

Q: flux (m/jour)
K_e: conductivité hydraulique latérale équivalente (m/jour)

La conductivité hydraulique latérale équivalente est calculée comme suit (Skaggs, 1991):

$$K_e = (K_1 * d_1 + K_2 * d_2 + K_3 * d_3 + ...) / (d_1 + d_2 + d_3 + ...)$$

K_i: Conductivité hydraulique saturée de la couche i
d_i: épaisseur de la couche saturée i

Le volume d'eau drainé (Q) est soustrait des couches au dessus des drains en partant de la couche saturée supérieure et en descendant jusqu'à la profondeur des drains.

10.4 Cycle de l'azote

Le cycle de l'azote est simulé lorsque le module NitriFlux est activé. Dans chaque couche, l'azote est présent dans six réservoirs. L'azote organique se retrouve dans les réservoirs LITIÈRE (résidus végétaux à décomposition rapide), FÈCES (azote d'origine animale à décomposition rapide) et HUMUS (résidus végétaux à décomposition lente). Les deux premiers réservoirs sont doublés d'un réservoir de carbone qui gère la minéralisation nette. L'azote inorganique se retrouve dans les réservoirs AMMONIUM (NH_4^+) et NITRATES (NO_3^-). Le sixième réservoir est le réservoir PLANTES. Il y a échanges d'azote entre les différents réservoirs par l'intermédiaire des processus biochimiques du cycle de l'azote. Les nitrates (la seule forme mobile de l'azote) migrent d'une couche à l'autre en fonction de la percolation, car ils sont en solution dans l'eau. La Figure 25 illustre le cycle de l'azote tel que représenté dans le modèle.

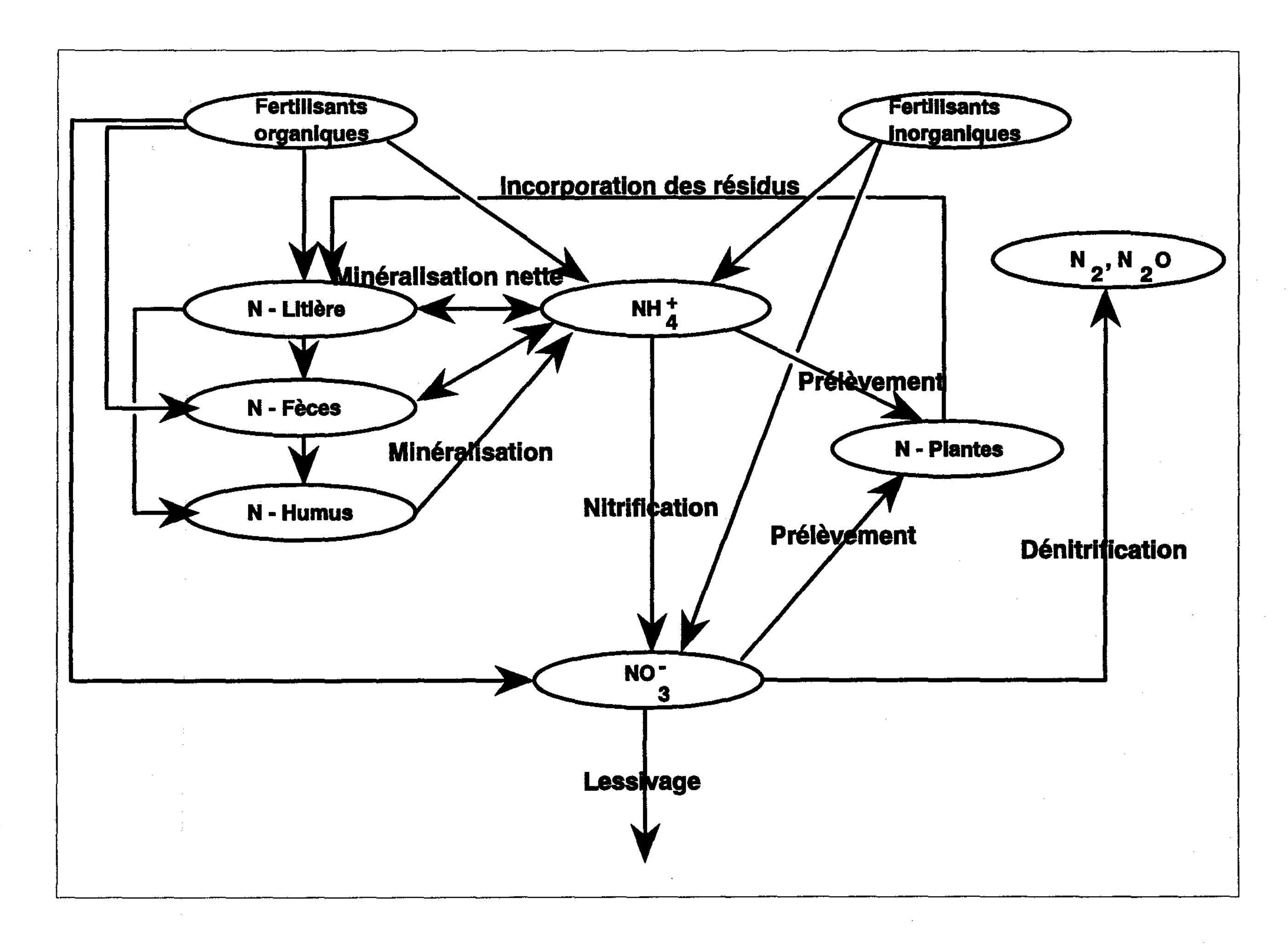


Figure 24. Cycle de l'azote

10.4.1 Amendements

Les amendements sont les apports organiques (fumiers, lisiers et résidus de récolte) et inorganiques incorporés aux différents réservoirs d'azote du sol. L'azote atmosphérique apporté via les précipitations n'est pas spécifiquement considéré à cause de son influence très faible sur les bilans en azote du sol au Québec (Larocque et Banton, 1993). L'utilisateur désireux d'en tenir compte pourra les intégrer sous forme fractionnée comme fertilisant inorganique.

10.4.3 Pertes d'azote par ruissellement

Lorsqu'il y a ruissellement d'eau au champ, différentes formes d'azote migrent avec l'eau ruisselée. L'azote organique et l'ammonium, qui ont tendance à s'adsorber aux particules de sol, sont transportés avec les particules érodés, alors que les nitrates migrent sous forme dissoute dans l'eau. Puisque l'érosion du sol n'est pas simulée dans la version actuelle d'AgriFlux (1.0), seuls les nitrates sont actuellement considérés comme pouvant être transportés par le ruissellement. La quantité exportée correspond à la fraction ruisselée du réservoir Nitrates des quelques centimètres (5 cm) supérieurs du profil de sol.

10.5.4 Facteurs abiotiques

Plusieurs facteurs influencent l'activité microbiologique à la base des réactions biochimiques du cycle de l'azote (humidité, température, pH, présence de certains ions, etc.). Dans NitriFlux, seuls les deux principaux facteurs sont pris en compte, soit l'humidité et la température. Ils sont nommés "facteurs abiotiques" du fait de leur indépendance de l'activité microbienne du sol, et sont représentés sous la forme d'un facteur multipliant chacune des constantes de réaction. Les facteurs abiotiques sont calculés de façon journalière afin de représenter les variations des conditions d'humidité et de température du sol.

Le facteur abiotique tenant compte de la teneur en eau du sol, prend deux formes selon que la réaction a lieu en présence d'oxygène (processus aérobie tel que la minéralisation nette et la nitrification) ou en absence d'oxygène, c'est-à-dire à teneurs en eau élevées (processus anaérobie tel que la dénitrification). Dans le cas d'un processus aérobie, Stanford et Epstein (1974) ont montré que l'humidité (θ) optimale est proche de la capacité au champ (CC) et que la constante de vitesse de la réaction décroît linéairement de part et d'autre de cet optimum. Le facteur abiotique de correction de la vitesse de réaction est donné par les rapports suivants (Prat, 1982):

$$\text{f.a.a.} = \theta / CC, \quad \text{pour } \theta < CC$$
$$\text{f.a.a.} = CC / \theta, \quad \text{pour } \theta > CC$$

f.a.a.: facteur abiotique aérobie
CC: capacité au champ du sol
θ: teneur en eau du sol

Dans le cas d'un processus anaérobie, l'activité microbienne a uniquement lieu lorsque les teneurs en eau sont proches de la saturation. La dénitrification est ainsi reconnue comme débutant à des teneurs en eau voisines de la capacité au champ et atteignant son optimum à saturation. La représentation adoptée pour les deux facteurs est illustrée à la Figure 25 (Godwin et Jones, 1991).

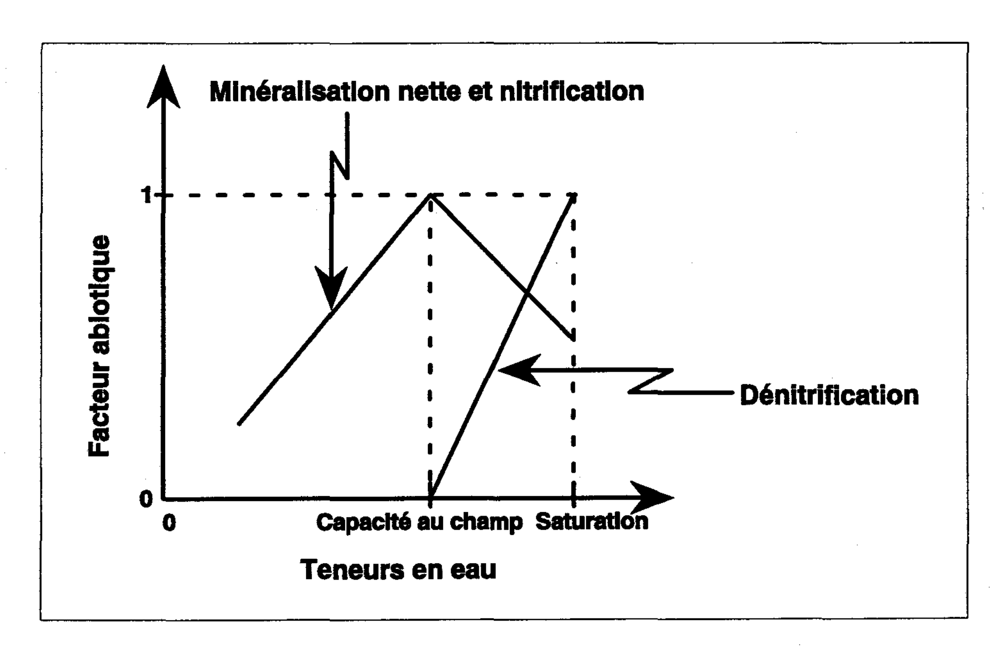


Figure 25. Facteurs abiotiques teneur en eau

Le facteur abiotique représentant l'influence de la température est le même pour les processus aérobie et anaérobie. La forme retenue est une exponentielle de la forme Q10 telle qu'illustrée à la Figure 26 et décrite dans l'équation de la page suivante.

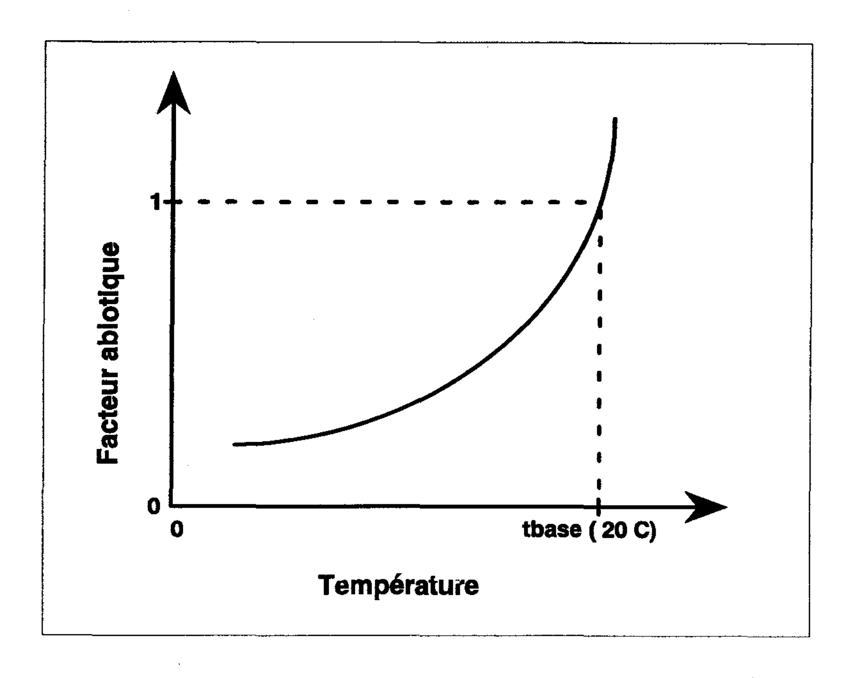


Figure 26. Facteur abiotique température

$$f.a.t. = Q_{10} \wedge ((t - t_{base})/10)$$

f.a.t.: facteur abiotique température
Q_{10}: facteur multiplicatif de la vitesse pour une augmentation de température de 10°C (Q_{10}=2)
t: température du sol (°C)
t_{base}: température de référence à laquelle le f.a.t. vaut 1 (20°C)

10.4.5 Minéralisation nette

La minéralisation nette est la somme de deux phénomènes agissant en sens opposé, soit la minéralisation et l'immobilisation. L'importance de chacun est déterminée par le rapport C/N du sol. La minéralisation est la transformation de l'azote organique en azote minéral par des bactéries aérobies. L'immobilisation est la transformation de l'azote inorganique (principalement sous la forme d'ammonium, mais parfois sous la forme de nitrates) à la forme organique par d'autres bactéries aérobies. La minéralisation excédant généralement l'immobilisation, la résultante des deux processus est nommée minéralisation nette.

Différentes représentations mathématiques de la minéralisation nette existent dans la littérature, les différences ayant principalement trait à l'ordre de la réaction et au nombre de réservoirs qui composent la matière organique du sol. La représentation retenue est une réaction d'ordre 1, et 3 réservoirs contenant la matière organique (Johnsson et al., 1987).

Il est à noter que la valeur utilisée pour chacune des constantes de réaction (dégradation de la litière, des fèces et de l'humus) doit avoir été déterminée dans des conditions optimales de teneur en eau (capacité au champ) et de température (20°C). Les facteurs abiotiques ajusteront les constantes de réaction selon les variations d'humidité et de température du sol.

10.4.6 Nitrification

La nitrification est le processus par lequel les ions ammonium sont oxydés en ions nitrates. Le processus est principalement réalisé par des bactéries aérobies.

La nitrification est représentée de différentes façons dans la littérature, les variantes provenant principalement de l'ordre de réaction privilégié. Dans AgriFlux, la réaction est d'ordre 1, telle que le plus généralement représentée:

$$N\text{-}NH_4^+ \Rightarrow N\text{-}NO_3^-(z) = K_{nit} * f.a.a. * f.a.t. * (N\text{-}NH_4^+(z) - N\text{-}NO_3^-(z)/rapp)$$

$N\text{-}NH_4^+ \Rightarrow N\text{-}NO_3^-(z)$:	quantité d'azote nitrifié dans la couche z
K_{nit}:	constante de nitrification (1/jour)
$N\text{-}NH_4^+(z)$:	ammonium présent dans la couche z
$N\text{-}NO_3^-(z)$:	nitrates présents dans la couche z
rapp:	rapport Nitrates/Ammonium du sol

Comme pour la minéralisation nette, la constante de nitrification utilisée doit correspondre aux conditions optimales de teneur en eau et de température.

10.4.7 Prélèvement d'azote

Le prélèvement d'azote est la quantité d'azote extraite par les racines pour satisfaire les besoins en azote de la plante.

Tout comme dans le cas du prélèvement d'eau par la plante, il existe plusieurs approches pour simuler ce processus. Puisque l'azote est prélevé en solution dans l'eau, l'approche développée dans NitriFlux est similaire à celle développée dans HydriFlux pour le prélèvement d'eau (assimilation de la courbe de prélèvement à une courbe normale).

Puisque la plante prélève à la fois l'azote sous forme d'ammonium et de nitrates, le prélèvement s'effectue selon la disponibilité de chacun, tout en respectant la fraction d'azote inorganique disponible pour le prélèvement et la fraction de racines dans chaque couche (section 10.2):

$$\text{Prélèvement} = \min(\text{besoin potentiel, quantité disponible})$$

$$\text{besoin pot. pourvu par } N\text{-}NO_3^- = P(j) * fraction(z) * BesoinN * N\text{-}NO_3^-/(N\text{-}NO_3^-+N\text{-}NH_4^+)$$
$$\text{besoin pot. pourvu par } N\text{-}NH_4^+ = P(j) * fraction(z) * BesoinN * N\text{-}NH_4^+/(N\text{-}NO_3^-+N\text{-}NH_4^+)$$

P(j):	fraction du prélèvement annuel ayant lieu le jour j
fraction(z):	fraction de racines dans la couche z
BesoinN:	besoin potentiel total en azote

Tout comme pour le prélèvement d'eau, un déficit d'azote peut aussi être accumulé pendant 7 jours (section 10.3.4) mais n'affecte pas la croissance de la culture.

10.4.8 Dénitrification

La dénitrification est la voie principale par laquelle l'azote passe du sol à l'atmosphère. La dénitrification biologique est la réduction des nitrates par des bactéries anaérobies.

La dénitrification est un processus extrêmement complexe et jusqu'à date très peu étudié. Pour cette raison, les représentations utilisées dans les différents modèles sont extrêmement variables. L'approche préconisée dans NitriFlux est une cinétique de type Michaelis-Menten:

$$N\text{-}NO_3^- \Rightarrow N_2\ (z) = K_{denit} * f.a.an. * f.a.t. * \underline{(N\text{-}NO_3^-/(N\text{-}NO_3^- + C_{demi}))}$$

$N\text{-}NO_3^- \Rightarrow N_2$ (z): quantité d'azote dénitrifiée dans la couche z
K_{denit}: constante de dénitrification (g N/m^2/jour)
f.a.an.: facteur abiotique anaérobie
C_{demi}: constante de demi-saturation (mg N/l)

La constante de dénitrification doit correspondre à la teneur en eau à saturation et à la température de 20°C.

10.4.9 Flux d'azote

Les nitrates constituent la seule forme de l'azote suffisamment soluble dans l'eau pour migrer avec celle-ci. Chaque jour, une concentration en nitrates est calculée dans chaque couche en divisant l'azote du réservoir Nitrates par l'eau contenue dans la couche. À chaque flux d'eau (ruissellement, drainage et lessivage) est ensuite associé un flux d'azote directement proportionnel à la concentration en nitrates dans l'eau de la couche concernée.

11. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

11.1 Flux journaliers

Les résultats des valeurs de flux journalier d'eau permettent de dater les périodes durant lesquelles ont lieu la recharge des nappes d'eau souterraine, ainsi que les apports aux cours d'eau par le ruissellement ou par le drainage artificiel. Ils permettent de quantifier les contributions aux différentes ressources superficielles et souterraines et de caractériser leur distribution temporelle

Les résultats des valeurs de flux journalier de nitrates permettent de quantifier et de dater les pertes à l'environnement. Cette connaissance fournit une indication précieuse sur les périodes de vulnérabilité des ressources souterraines et superficielles, ainsi que sur celles des impacts potentiels sur les écosystèmes aquatiques.

11.2 Flux cumulés

Les flux cumulés d'eau quantifient l'importance de la recharge en eau de la nappe par infiltration, ainsi que la répartition des infiltrations en recharge de nappe et en drainage artificiel. Ils indiquent aussi la répartition des contributions aux eaux de surface provenant du ruissellement direct et du drainage artificiel.

Les flux cumulés de nitrates indiquent les pertes environnementales annuelles vers les différentes ressources superficielles et souterraines, et permettent de les comparer directement aux apports d'azote par fertilisation. De plus, l'évolution temporelle des pertes peut être étudiée pour des scénarios pluriannuels de fertilisations et de cultures.

Le rapport des flux de nitrates et d'eau rechargeant la nappe pour une ou plusieurs années, fournit une valeur de concentration moyenne représentative de celle que l'on pourrait observer dans la nappe. En effet, les différents flux journaliers se mélangent dans la nappe sous le triple effet des apports verticaux (constituant la recharge), des fluctuations verticales de la nappe (fonction des apports) et de l'écoulement horizontal naturel de cette nappe. La concentration moyenne peut alors être directement comparée à la norme de potabilité de l'eau ou à tout autre critère de qualité.

11.3 Concentrations

Les concentrations journalières en nitrates peuvent être comparées directement à des normes ou à des critères de qualité. Cette comparaison permet de quantifier les risques de contamination des ressources d'eau et les impacts potentiels sur les écosystèmes aquatiques.

11.4 État des réservoirs

Les valeurs de contenu en azote et carbone des différents réservoirs du sol renseignent sur la reconstitution ou l'appauvrissement du sol en matière organique. Elles permettent une comparaison directe de l'état initial et de l'état final du sol sous les pratiques étudiées.

12. LIMITES ACTUELLES D'AGRIFLUX ET DÉVELOPPEMENTS FUTURS

La structure modulaire d'AgriFlux est constituée de manière à pouvoir aisément recevoir des améliorations et de nouveaux modules. La mise à jour des modules et de l'outil est prévue en fonction de l'avancée des connaissances. Deux modules sont déjà envisagés, PestiFlux qui tiendra compte du devenir des pesticides dans le sol et les eaux, et le module PhosFlux qui portera sur le devenir du phosphore. Il pourra en être ainsi pour d'autres nouveaux modules portant sur le potassium, sur l'érosion, etc.

Des améliorations de la version actuelle (1.0) d'AgriFlux sont déjà envisagées. Ces améliorations porteront sur les modules HydriFlux (1.0) et NitriFlux (1.0). Ces améliorations, qui devraient faire l'objet des prochaines versions de ces modules, sont:

Module HydriFlux:

- influence du travail du sol sur l'infiltration et le ruissellement
- prise en compte de la capillarité
- calcul de l'exportation par ruissellement en fonction de la pente du terrain
- possibilité d'utiliser les valeurs de précipitations journalières lorsque connues
- possibilité d'entrer les valeurs initiales de contenus en eau lorsque connues

Sous-module Racine:

- croissance racinaire non-linéaire (représentation par une double exponentielle)
- gestion du déficit en eau (et éventuellement en azote) pour la croissance des plants

Sous-module Température:

- amélioration du calcul de la température du sol (solution continue)

Module IrriFlux (nouveau module très relié à HydriFlux):

- gestion de l'irrigation de surface en tenant compte des périodes de déficit en eau
- irrigation souterraine par drainage contrôlé (contrôle du rabattement de la nappe)

Module NitriFlux:

- influence du travail du sol sur le cycle de l'azote (processus aérobie/anaérobie)
- pertes d'azote sous forme adsorbée avec l'érosion et le ruissellement

13. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abramovitz, M. et I.A. Stegun. 1972. Handbook of mathematical functions. Ed. M. Abramovitz et I.A. Stegun. Dover publications. New York, NY.

Bear, J. 1988. Dynamics of fluids in porous media. Dover publications, Inc. New York, NY.

Bolt, G.M., A.R.D. Janse et F.F.R. Koenigs. 1966. Basic elements of soil chemistry and soil physics II: Soil physics. Wageningen.

Bouwer, H. et van Schilfgaarde. 1963. Simplified method of predicting fall of water table in drained land. Trans. ASAE. 6(4):288-291.

Brandt, M. 1990. Simulation of runoff and nitrate transport from mixed basins in Sweden. Nordic Hydrology, 21:13-34.

Carsel, R.F., C.N. Smith, L.A. Mulkey, J.D. Dean et P. Jowise. 1984. Users manual for the pesticide root zone model (PRZM). U.S. Environmental protection agency. Athens, GA.

Environnement Canada. 1984a. Normales climatiques au Canada. Volume 3. Précipitations. 1951-1980. Service de l'environnement atmosphérique. Publication du programme climatologique canadien.

Environnement Canada. 1984b. Normales climatiques au Canada. Volume 2. Température. 1951-1980. Service de l'environnement atmosphérique. Publication du programme climatologique canadien.

Environnement Canada. 1984c. Normales climatiques au Canada. Volume 9. Température du sol, évaporation à la surface des lacs, jours de ... 1951-1980. Service de l'environnement atmosphérique. Publication du programme climatologique canadien.

Godwin, D.C. et C.A. Jones. 1991. Nitrogen dynamics in soil-plant systems. Dans:"Modeling plant and soil systems". Ed. J. Hanks et J.T. Ritchie. ASA, CSSA, et SSSA. Madison, WI.

Horton, R. et S.-O. Chung. 1991. Soil heat flow. Dans:"Modeling plant and soil systems". Ed. J. Hanks et J.T. Ritchie. ASA, CSSA, et SSSA. Madison, WI.

Johnsson, H., L. Bergström et P.-E. Jansson. 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. Agric. Ecosys. Environ. 18:333-356.

Larocque, M. et O. Banton. 1993. Significance of parameter precision in modeling the nitrogen cycle and nitrate leaching. Soil Sci. Soc. Am. J. (sous presse)

Linsley, R.K., M.A. Kohler et J.L.H. Paulhus. 1975. Hydrology for engineers. 2ième édition. McGraw-Hill.

Musy, A. et M. Soutter. 1991. Physique du sol. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Suisse.

Prat, M. 1982. Simulation théorique du transport de produits réactifs dans les sols. Cas de l'azote dans les relations bassin versant-rivière. Thèse de Docteur Ingénieur, Inst. Nat. Polytechn. Toulouse, France.

Rawls, W.J. et D.L. Brakensiek. 1989. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. *Dans*: Unsaturated flow in hydrologic modeling theory and practice. H.J. Morel-Seytoux (ed.). Kluwer Academic Publishers. Pays-Bas. pp275-300.

Richter, J. 1987. The soil as a reactor. Modelling processes in the soil. Catena Verlag. Cremlingen, Allemage.

Skaggs, R.W. 1991. Drainage. Dans: Modeling plant and soil systems. Ed. J. Hanks et J.T. Ritchie. ASA, CSSA and SSSA. Madison, WI.

Soil Conservation Service. 1972. National engineering handbook. USDA-SCS, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

Stanford, G. et E. Epstein. 1974. Nitrogen mineralization. Water relations in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:103-107.

14. ANNEXES

14.1 Distributions statistiques

Les distributions pouvant être déclarées pour les données d'entrée au modèle sont des distributions discrètes, uniformes, normales, lognormales ou asymétriques (loi Bêta).

14.1.1 Distribution discrète

L'utilisateur fournit au modèle pour un paramètre donné une valeur unique. La probabilité est donc 1.

14.1.2 Distribution uniforme

La valeur d'un paramètre est uniformément distribuée entre deux valeurs (bornes inférieure et supérieure de la fourchette de valeurs) quand la probabilité d'avoir une valeur donnée est la même que celle d'avoir une quelconque autre valeur sur la distribution.

14.1.3 Distribution normale

Une variable X est dite normale lorsque sa fonction densité de probabilité correspondante (g(x)) est:

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2}}\pi \exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{x-m}{\sigma}\right]^2\right]$$

m: moyenne
σ: écart-type

Cette distribution est unimodale. L'intervalle de variation de la variable x s'étend de $-\infty$ à $+\infty$.

La fonction densité de probabilité inverse est calculée à partir de la fonction approchée 26.2.22 d'Abramovitz et Stegun (1972).

4.1.4 Distribution lognormale

Une variable Y est dite lognormale ou logarithmico-normale lorsque son logarithme (X=LogY) possède une distribution normale. Son intervalle de variation s'étend de 0 à +∞. La fonction densité de probabilité correspondante est:

$$g(y) = \frac{1}{y\,\sigma_{Log\,y}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{Log\,y - m_{Log\,y}}{\sigma_{Log\,y}}\right]^2\right]$$

Cette distribution est unimodale et caractérisée par une dissymétrie gauche.

Les relations entre les moyennes et variances des variables initiale Y et transformée X sont:

$$m_y = \exp(m_x + \sigma_x^2/2)$$

$$\sigma_y^2 = \exp(2m_x + \sigma_x^2)\,(\exp(\sigma_x^2) - 1)$$

$$m_x = Log\,\frac{m_y}{\sqrt{(m_y^2 + \sigma_y^2)}}$$

$$\sigma_x^2 = Log\,(1 + \sigma_y^2\,/\,m_y^2)$$

La Figure 27 donne des exemples de dissymétrie de la distribution pour différents rapports de m_y et σ_y.

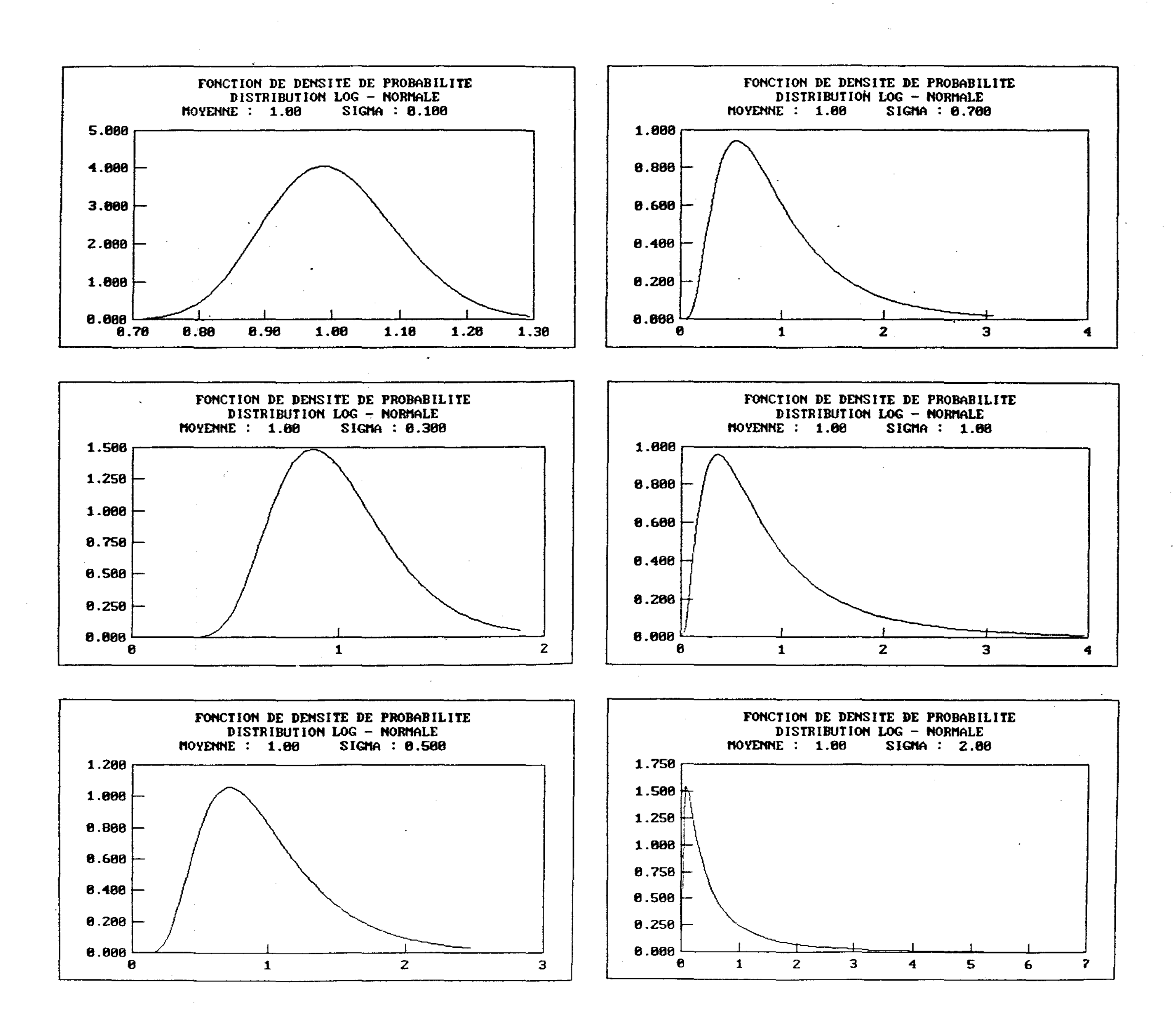


Figure 27. Distributions lognormales

14.1.5 Distribution Bêta

La famille des distributions Bêta est composée de toutes les distributions ayant une fonction densité de probabilité de la forme:

$$g(x) = \frac{1}{B(a,b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1} \qquad (0 \leq x \leq 1)$$

$$B(a,b) = \frac{\Gamma(a)\ \Gamma(b)}{\Gamma(a+b)} \qquad \text{où } \Gamma(a) = \frac{a!}{a}$$

L'intégrale de probabilité de la distribution jusqu'à x est appelée Fonction Bêta Incomplète et notée $I_x(a,b)$.

$$I_x(a,b) = \frac{1}{B(a,b)} \int_0^x t^{a-1} (1-t)^{b-1}\, dt \qquad (0 \leq x \leq 1)$$

L'approximation de la Fonction Bêta Inverse est donnée par Abramovitz et Stegun (éq. 26.5.22).

Si $I_x(a,b) = p$ et $Q(y) = p$ (où Q est la densité de probabilité de la distribution normale)

$$x \approx \frac{a}{a + be^{2w}}$$

$$w = \frac{y\sqrt{(h+j)}}{h} - \left[\frac{1}{2b-1} - \frac{1}{2a-1}\right]\left[1 + \frac{5}{6} - \frac{2}{3h}\right]$$

$$h = 2\left[\frac{1}{2b-1} + \frac{1}{2a-1}\right]^{-1}$$

$$j = \frac{y^2 - 3}{6}$$

La Figure 28 montre différentes représentations de fonctions de densité de probabilité de distributions Bêta pour différentes valeurs de coefficients.

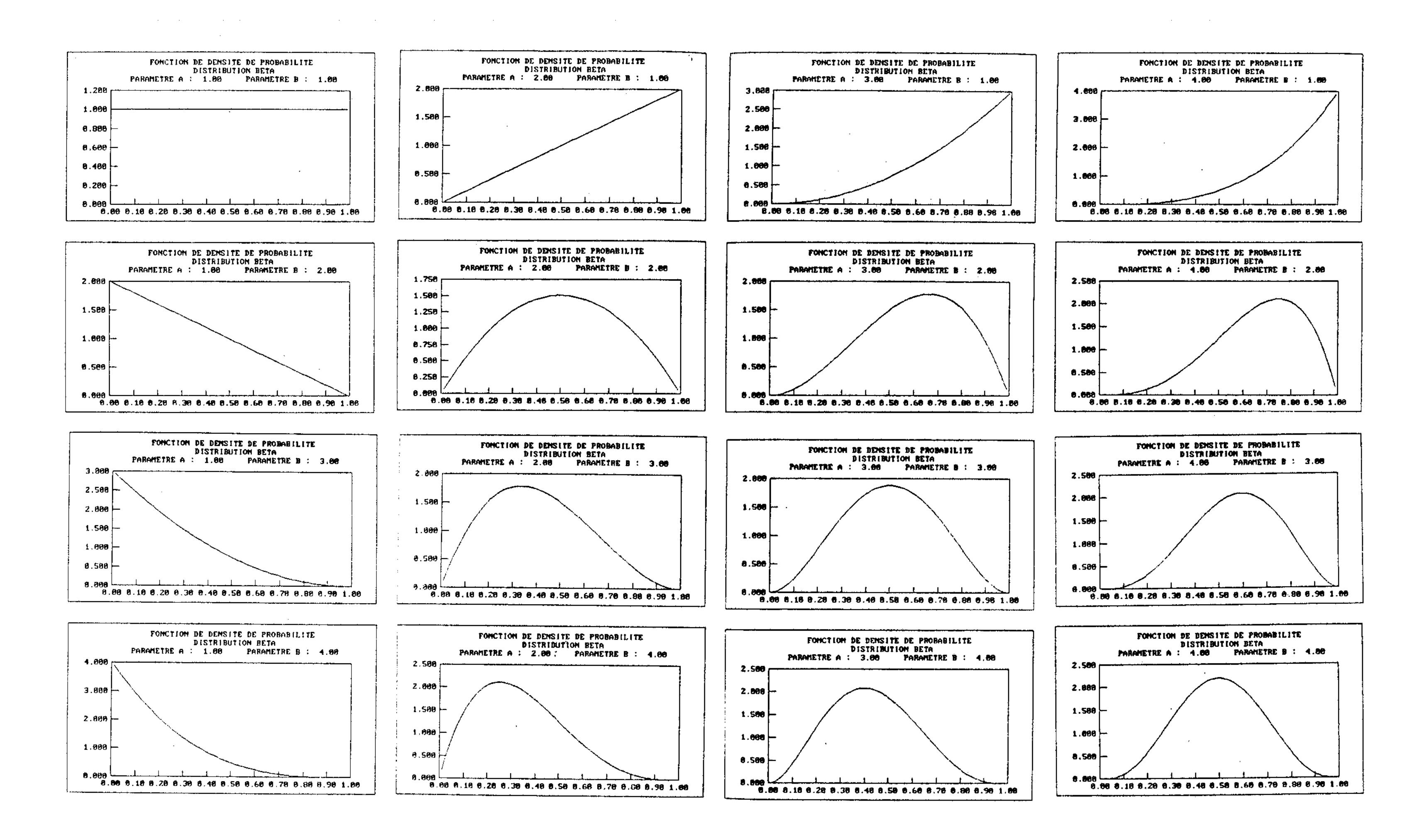


Figure 28. Distributions Bêta

Le logiciel AgriFlux prend en compte la variabilité des différents paramètres. Les données d'entrée représentant ces paramètres sont, contrairement aux modèles déterministes où les valeurs sont ponctuelles, des distributions de valeur. Les distributions possibles peuvent être de cinq types:

- ponctuelle (une seule valeur requise, valeur ponctuelle ou moyenne)
- distribution uniforme (fourchette de valeurs)
- distribution normale (valeur moyenne et écart-type)
- distribution log-normale (valeur moyenne et écart-type)
- distribution asymétrique Bêta (paramètres de la loi Bêta représentative, et bornes de la distribution).

Pour certains paramètres, les distributions peuvent être facilement mesurées et le choix du type de distribution aisé. Par exemple, l'épaisseur de chaque couche de sol est facilement mesurable ou accessible sur différents documents (cartes, profils pédologiques, ...); le type de distribution sera uniforme ou normale, choisie par l'expérience de l'utilisateur pour le site étudié.

Pour d'autres paramètres, le type de distribution est connu, et la possession de quelques valeurs permet de définir la distribution assez aisément. Par exemple, il est admis que les conductivités hydrauliques sont distribuées log-normalement sur un site homogène. La mesure de quelques valeurs permet de déterminer les deux valeurs nécessaires à la déclaration de la distribution log-normale (moyenne et écart-type).

Pour d'autres paramètres, la distribution est évaluable à partir de l'expérience des conditions in-situ. Par exemple, pour le taux d'application d'un fertilisant inorganique on peut choisir le type de distribution en fonction du type d'application. Si on peut admettre que l'application est homogène sur la surface, la distribution retenue sera la valeur discrète (moyenne). Si l'application est peu homogène, on retiendra une distribution normale dont l'écart-type sera la moitié de la moyenne. Si l'application est très hétérogène on choisira une distribution uniforme dont les bornes seront 0 et 2*moyenne.

Pour d'autres paramètres la distribution sera difficilement mesurable, souvent du fait même de la difficulté de mesure des valeurs, principalement in situ (tel que par exemple pour les constantes de dégradation des différents réservoirs de matière organique). Souvent de plus il serait nécessaire de réaliser un grand nombre de mesures pour définir avec précision la distribution.

Il est intéressant de remarquer que la loi bêta présente certains avantages dans la représentation des distributions. Le premier et principal, est que ces distributions sont bornées, contrairement aux distributions normale et log-normale. L'utilisateur peut ainsi exclure la possibilité de valeurs très grandes et très petites qui sont des évènements très

peu probables dans une distribution, mais toujours possibles. Or de telles valeurs sont naturellement souvent impossibles. Dans le modèle AgriFlux, nous avons limité la distribution normale à deux écarts-type ($\pm 2*\sigma$), et la distribution log-normale à deux écarts-type sur la distribution normale des logarithmes.

Par la souplesse de représentation de la loi Bêta, il est possible à l'utilisateur de transposer ses distributions normales et log-normales sous forme de lois Bêta, en ajustant les paramètres de celle-ci (Figure 27).

14.2 Exemples de fichiers

14.2.1 Fichier SOL (*.SOL)

2	Nombre de couches	
1	Paramètre non utilisé dans la présente version d'AgriFlux	
1	Paramètre non utilisé dans la présente version d'AgriFlux	
1	Profondeur maximale d'évaporation (m)	- loi
0.2		- paramètre(s)
1	Pente du sol (%)	- loi
3.5		- paramètre(s)
1	Présence de drains dans le profil? (0=Non, 1=Oui)	
1	Profondeur des drains	- couche au-dessus des drains
2		- couche au-dessous des drains
1	Espacement des drains	- loi
20		- paramètre(s)
0	Présence d'un niveau imperméable sous la nappe? (0=Non, 1=Oui)	
1	Conductivité hydraulique saturée de la 1ère couche (m/j)	- loi
0.03		- paramètre(s)
1	Pourcentage de sable de la 1ère couche (%)	- loi
0.522		- paramètre(s)
1	Pourcentage de limon de la 1ère couche (%)	- loi
0.247		- paramètre(s)
1	Pourcentage d'argile de la 1ère couche (%)	- loi
0.231		- paramètre(s)
1	Porosité de la 1ère couche (m^3/m^3)	- loi
0.447		- paramètre(s)
1	Point de flétrissement de la 1ère couche (m^3/m^3)	- loi
0.2		- paramètre(s)
1	Capacité au champ de la 1ère couche (m^3/m^3)	- loi
0.26		- paramètre(s)
1	Epaisseur de la 1ère couche (m)	- loi
0.2		- paramètre(s)
...		

14.2.2 Fichier CLIMAT (*.CLI)

0	Paramètre non-utilisé dans la présente version d'AgriFlux	
175	Nombre de jours de pluie	
1	Jour où la température de l'air est la plus basse	- loi
21		- paramètre
1	Fraction de neige au sol au début de la fonte	- loi
0.5		- paramètre(s)
1	Taux de fonte ($m \cdot {}^{\circ}C^{-1} \cdot jour^{-1}$)	- loi
0.009		- paramètre(s)
0.0904	Précipitations de janvier (m)	
-11.7	Température de l'air de janvier (°C)	
0	Evaporation potentielle de janvier (m)	
0.0847	Précipitations de février (m)	
-10.4	Température de l'air de février (°C)	
0	Evaporation potentielle de février (m)	
0.0778	Précipitations de mars (m)	
-4.3	Température de l'air de mars (°C)	
0	Evaporation potentielle de mars (m)	
0.0694	Précipitations d'avril (m)	
3.5	Température de l'air d'avril (°C)	
0	Evaporation potentielle d'avril (m)	
0.086	Précipitations de mai (m)	
11.1	Température de l'air de mai (°C)	
0.1003	Evaporation potentielle de mai (m)	
......	....	
0.1149	Précipitations de septembre (m)	
13.1	Température de l'air de septembre (°C)	
0.0644	Evaporation potentielle de septembre (m)	
0.0888	Précipitations d'octobre (m)	
7.2	Température de l'air d'octobre (°C)	
0.0376	Evaporation potentielle d'octobre (m)	
0.0958	Précipitations de novembre (m)	
0.3	Température de l'air de novembre (°C)	
0	Evaporation potentielle de novembre (m)	
0.1176	Précipitations de décembre (m)	
-8.7	Température de l'air de décembre (°C)	
0	Evaporation potentielle de décembre (m)	

14.2.3 Fichier AZOTE (*.AZO)

2	Nombre de couches
1	Constante de dégradation de la litière (1/j) - loi
0.035	- paramètre(s)
1	Constante de dégradation des fèces (1/j) - loi
0.035	- paramètre(s)
1	Efficacité de la synthèse microbienne de la litière - loi
0.5	- paramètre(s)
1	Efficacité de la synthèse microbienne des fèces - loi
0.2	- paramètre(s)
1	Fraction de litière passant à l'humus - loi
0.2	- paramètre(s)
1	Fraction de fèces passant à l'humus - loi
0.2	- paramètre(s)
1	Rapport C/N du sol - loi
10	- paramètre(s)
1	Constante de minéralisation de l'humus (1/j) - loi
0.0001	- paramètre(s)
1	Constante de nitrification (1/j) - loi
0.2	- paramètre(s)
1	Fraction de l'azote inorganique disponible - loi
0.08	- paramètre(s)
1	Constante de dénitrification ($gN \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$) - loi
0.2	- paramètre(s)
1	Profondeur maximale de dénitrification (m) - loi
1	- paramètre(s)
1	Patron de dénitrification (1=cônique, 2=hémisphérique, 3=cylindrique)
1	Constante de demi-saturation (mgN/l) - loi
7	- paramètre(s)
1	Rapport NO_3^-/NH_4^+ du sol - loi
15	- paramètre(s)
1	Contenu initial en C-litière de la 1ère couche - loi
0	- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-litière de la 1ère couche - loi
0	- paramètre(s)
1	Contenu initial en C-fèces de la 1ère couche - loi
0	- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-fèces de la 1ère couche - loi
0	- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-humus de la 1ère couche - loi
5000	- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-NO_3^- de la 1ère couche - loi

0		- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-NH_4^+ de la 1ère couche	- loi
0		- paramètre(s)
1	Contenu initial en C-litière de la 2ème couche	- loi
0		- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-litière de la 2ème couche	- loi
0		- paramètre(s)
1	Contenu initial en C-fèces de la 2ème couche	- loi
0		- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-fèces de la 2ème couche	- loi
0		- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-humus de la 2ème couche	- loi
2500		- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-NO_3^- de la 2ème couche	- loi
0		- paramètre(s)
1	Contenu initial en N-NH_4^+ de la 2ème couche	- loi
0		- paramètre(s)

14.2.4 Fichier CULTURE (*.CLT)

2	Nombre de cultures	
1	Type de la 1ère culture (1=annuelle, 2=pérenne)	
1	Date de début de croissance de la 1ère culture	- jour
6		- mois
1986		- année
15	Date de fin de croissance de la 1ère culture	- jour
09		- mois
1986		- année
1	Nombre de coupe(s) de la 1ère culture	
10	Date(s) de coupe(s) de la 1ère culture	- jour
9		- mois
1986		- année
1	Travail du sol (0=Non, 1=Oui)	
20	Date de travail du sol (s'il y a lieu)	- jour
09		- mois
1986		- année
1	Profondeur de travail du sol (m)	- loi
0.15		- paramètre(s)
1	Besoin en azote de la 1ère culture (kgN/ha)	- loi
143		- paramètre(s)
1	Besoin en eau de la 1ère culture (m)	- loi
0.3		- paramètre(s)
1	Fraction de l'azote récolté de la 1ère culture	- loi
0.6		- paramètre(s)
1	Fraction de l'azote résiduel de la 1ère culture	- loi
0.3		- paramètre(s)
1	Rapport C/N des racines de la 1ère culture	- loi
25		- paramètre(s)
1	Rapport C/N des résidus de récolte de la 1ère culture	- loi
60		- paramètre(s)
1	Profondeur des racines à maturité (m)	- loi
1		- paramètre(s)
1	Patron racinaire (1=cônique, 2=hémisphérique, 3=cylindrique)	
1	Type de la 2ème culture (1=annuelle, 2=pérenne)	
1	Date de début de croissance de la 2ème culture	- jour
6		- mois
1987		- année
15	Date de fin de croissance de la 2ème culture	- jour
09		- mois
1987		- année
1	Nombre de coupe(s) de la 2ème culture	

10	Date(s) de coupe(s) de la 2ème culture - jour
9	- mois
1987	- année
1	Travail du sol (0=Non, 1=Oui)
20	Date de travail du sol (s'il y a lieu) - jour
09	- mois
1987	- année
1	Profondeur de travail du sol de la 2ème culture (m) - loi
0.15	- paramètre(s)
1	Besoin en azote de la 2ème culture (kgN/ha) - loi
143	- paramètre(s)
1	Besoin en eau de la 2ème culture (m) - loi
0.3	- paramètre(s)
1	Fraction de l'azote récolté de la 2ème culture - loi
0.6	- paramètre(s)
1	Fraction de l'azote résiduel de la 2ème culture - loi
0.3	- paramètre(s)
1	Rapport C/N des racines de la 2ème culture - loi
25	- paramètre(s)
1	Rapport C/N des résidus de récolte de la 2ème culture- loi
60	- paramètre(s)
1	Profondeur des racines à maturité (m) - loi
1	- paramètre(s)
1	Patron racinaire (1=cônique, 2=hémisphérique, 3=cylindrique)

14.2.5 Fichier FERTILISATION (*.FER)

4	Nombre de fertilisations		
2	Type de la première fertilisation (1=organique, 2=inorganique)		
1	Date du premier épandage	- jour	
5		- mois	
1986		- année	
1	Contenu en NH_4^+ (kg N-NH_4^+/ha)		- loi
10			- paramètre(s)
1	Contenu en NO_3^- (kg N-NO_3^-/ha)		- loi
10			- paramètre(s)
1	Constante de dissolution (1/jour)		- loi
0.2			- paramètre(s)
1	Type de la deuxième fertilisation (1=organique, 2=inorganique)		
20	Date du deuxième épandage	- jour	
6		- mois	
1986		- année	
1	Profondeur d'application - loi		
0.15	- paramètre(s)		
1	Contenu en NH_4^+ (kg N-NH_4^+/ha)		- loi
50			- paramètre(s)
1	Contenu en NO_3^- (kg N-NO_3^-/ha)		- loi
0			- paramètre(s)
1	Contenu en litière (kg N/ha)	- loi	
0		- paramètre(s)	
1	Contenu en fèces (kg N/ha)	- loi	
80		- paramètre(s)	
1	Volume d'eau apporté (m^3/ha)		- loi
40			- paramètre(s)
1	Rapport C/N de la litière	- loi	
30		- paramètre(s)	
1	Rapport C/N des fèces	- loi	
10		- paramètre(s)	
2	Type de la troisième fertilisation (1=organique, 2=inorganique)		
1	Date du troisième épandage	- jour	
5		- mois	
1987		- année	
1	Contenu en NH_4^+ (kg N-NH_4^+/ha)		- loi
10			- paramètre(s)
1	Contenu en NO_3^- (kg N-NO_3^-/ha)		- loi
10			- paramètre(s)
1	Constante de dissolution (1/jour)		- loi
0.2			- paramètre(s)

1	Type de la quatrième fertilisation	(1=organique, 2=inorganique)
20	Date du quatrième épandage	- jour
6		- mois
1987		- année
1	Profondeur d'application - loi	
0.15		- paramètre(s)
1	Contenu en NH_4^+ (kg N-NH_4^+/ha)	- loi
50		- paramètre(s)
1	Contenu en NO_3^- (kg N-NO_3^-/ha)	- loi
0		- paramètre(s)
1	Contenu en litière (kg N/ha)	- loi
0		- paramètre(s)
1	Contenu en fèces (kg N/ha)	- loi
80		- paramètre(s)
1	Volume d'eau apporté (m^3/ha)	- loi
40		- paramètre(s)
1	Rapport C/N de la litière	- loi
30		- paramètre(s)
1	Rapport C/N des fèces	- loi
10		- paramètre(s)

14.2.6 Fichier SIMULATION (.SIM)

1	Date de début de simulation	- jour
11		- mois
1985		- année
1	Date de fin de simulation	- jour
11		- mois
1987		- année
0	Paramètre non-utilisé dans la présente version d'AgriFlux	
1	Date état des réservoirs	- jour
9		- mois
100	Nombre de simulations	
1	Option Culture? (0=Non, 1=Oui)	
1	Module NitriFlux? (0=Non, 1=Oui)	
1	Option Fertilisants? (0=Non, 1=Oui)	
0	Option Pesticides? (0=Non, 1=Oui)	
0	Paramètre non-utilisé dans la présente version d'AgriFlux	
exemple.sol	Nom du fichier *.SOL utilisé	
exemple.cli	Nom du fichier *.CLI utilisé	
exemple.clt	Nom du fichier *.CLT utilisé	
exemple.azo	Nom du fichier *.AZO utilisé	
exemple.fer	Nom du fichier *.FER utilisé	

14.2.7 Fichiers de FLUX, de FLUX CUMULÉS et de CONCENTRATIONS

30		Nombre de séries de valeurs	
1986		Année de début de la simulation	
1	0.000056	0.000119	Quantième, moyenne et écart-type
2	0.000057	0.000120	Quantième, moyenne et écart-type
3	0.000058	0.000122	Quantième, moyenne et écart-type
4	0.000059	0.000123	...
5	0.000060	0.000124	
6	0.000061	0.000126	
...			
28	0.000073	0.000112	
29	0.000074	0.000108	
30	0.000075	0.000102	

14.2.8 Fichiers BILANS DES RÉSERVOIRS

3			Nombre de séries de valeurs
1986			Année de début de simulation
2			Nombre de couches dans le profil de sol
100	50	5	Quantième, moyenne et écart-type du début de la simulation et de la première couche
100	50	5	Quantième, moyenne et écart-type du début de la simulation et de la deuxième couche
250	48	4.5	Quantième, moyenne et écart-type du premier bilan et de la première couche
250	39	3	Quantième, moyenne et écart-type du premier bilan et de la deuxième couche
465	12	1	Quantième, moyenne et écart-type de la fin de la simulation et de la première couche
465	8	0.5	Quantième, moyenne et écart-type de la fin de la simulation et de la deuxième couche

15. MESSAGES D'ERREUR

Les messages d'erreur décrits ci-après sont affichés à l'écran à la suite d'une erreur dans la saisie d'un paramètre ou dans l'exécution d'une commande.

15.1 Erreurs générales

Fichier inexistant!: Le fichier *Agriflux.dat* n'existe pas dans le répertoire courant. Ce fichier étant nécessaire aux simulations, il faut le copier de la disquette originale et recommencer l'exécution.

15.1.1 Dates

Incohérence des années
Incohérence des mois
Incohérence des jours!: Il y a incohérence de dates dans un fichier *.CLT (débuts et fin de croissance d'une culture ou entre cultures), dans un fichier *.FER (dates de fertilisations non-chronologiques), dans un fichier *.SIM (début et fin de simulation). Ce message peut aussi s'afficher au moment de l'exécution alors qu'AgriFlux teste la cohérence des différents fichiers entre eux.

15.1.2 Valeurs

Le titre de la boîte qui apparaît à l'écran correspond au paramètre concerné.

Caractère(s) invalide(s)!: Un ou plusieurs caractère(s) utilisé(s) pour nommer un fichier ou définir un paramètre sont invalides (. : , < > ;).

La borne inférieure est ≥ à la borne supérieure!: Dans le cas d'une distribution uniforme ou asymétrique (Bêta), les bornes ne sont pas cohérentes.

La valeur doit être entière!: Un réel a été saisi à la place d'un entier.
La valeur doit être > à ...
La valeur doit être ≥ à ...
La valeur doit être < à ...
La valeur doit être ≤ à ...: L'intervalle permis pour le paramètre a été dépassé.

Pas assez de mémoire!: Trop de chiffres significatifs ont été utilisés pour définir un paramètre.

15.2 Fichiers

Ces erreurs ont trait principalement à la nomenclature utilisée pour appeler le fichier.

Erreur dans la lecture d'un fichier...!: Une erreur s'est produite lors de la lecture d'un fichier. Peut être causé par un nombre de valeurs annoncées supérieur au nombre de valeurs existant dans un fichier résultat (problème lors de l'exécution ou lors de la manipulation des données par l'intermédiaire d'un chiffrier ou traitement de texte).

L'extension est incorrecte!: Un nombre limité d'extensions sont reconnues par AgriFlux: .SOL, .CLI, .CLT, .AZO, .FER et .SIM pour les fichiers de paramètres; .LEE, .LEN, .RUE, .RUN, .DRE et .DRN pour les fichiers résultats contenant des flux d'eau ou de nitrates; .LIC, .LIN, .FEC, .FEN et .HUN pour les fichiers résultats contenant l'état des réservoirs; .LEC, .LNC, .REC, .RNC, .DEC et .DNC pour les fichiers résultats contenant des flux cumulés d'eau et de nitrates; .LCO, .RCO et .DCO pour les fichiers résultats contenant les concentrations en nitrates des flux d'eau (voir section 3.3).

L'extension est superflue!: Il est inutile d'indiquer l'extension lorsque le nom du fichier cumulé ou concentration est spécifié, puisqu'elle est sélectionnée automatiquement.

Le nom est incorrect!: L'utilisateur cherche à ouvrir, choisir ou enregistrer un fichier dont le nom contient des caractères invalides (. : , < > ;).

Le nom est trop long!: L'utilisateur cherche à ouvrir, choisir ou enregistrer un fichier dont le nom excède 8 caractères.

Les données étant incomplètes, le fichier " ... " n'a pas été créé!: L'utilisateur doit répondre à toutes les questions avant de pouvoir enregistrer un fichier.

Pas de fichier choisi!: Il n'y a pas eu de nom de fichier choisi au moment de l'ouverture, de l'enregistrement, de l'accumulation ou de la concentration (résultats).

15.2.1 Fichier *.SOL

Les erreurs suivantes peuvent survenir au moment de la saisie du paramètre ou au moment de l'enregistrement.

Le nombre de couches a changé!: La réponse à l'item "nombre de couches" a été modifiée après la saisie des paramètres de chacune des couches. Dans le cas où le nouveau nombre de couches est supérieur à l'ancien, il faut caractériser la(les) nouvelle(s) couche(s) à la suite des autres. Dans le cas où le nombre de couches a été diminué, il s'agit de cliquer "caractéristiques des couches" et de cliquer OK dans la fenêtre "caractéristiques d'une couche".

Le nombre de couches et la position des drains sont incompatibles!: Les drains sont positionnés à l'extérieur du profil.

Le numéro de la couche sous les drains doit être > 0!: Les drains ne peuvent pas être positionnés à la surface du profil de sol.

Les drains doivent être entre deux couches!: Les drains ont été positionnés à l'extérieur du profil de sol. Les drains doivent être au plus bas situés entre l'avant-dernière et la dernière couche.

Les valeurs de point de flétrissement, de capacité au champ et de porosité sont incompatibles entre elles!: Ces valeurs doivent être définies comme suit:
Porosité > Capacité au champ > Point de flétrissement.

15.2.2 Fichier *.CLT

Coupe # ... avant coupe # ...!: Les coupes ne sont pas en ordre chronologique.

Coupe # ... avant début de croissance!: La coupe se produit avant que la plante n'ait débuté sa saison de croissance.

Coupe # ... de la culture # ... avant coupe # de la culture # ...!: Les coupes pour une même culture doivent être en ordre chronologique. Entre les cultures, les coupes ne peuvent pas se chevaucher.

Début de croissance de la culture # ... avant début de croissance de la culture #...!: Deux cultures successives ne peuvent pas se chevaucher dans le temps.

Début de croissance de la culture # ... avant fin de croissance de la culture # ...!: Deux cultures successives ne peuvent pas se chevaucher dans le temps.

Fin de croissance avant début de croissance!: La fin de la période de croissance se produit avant le début de la période de croissance pour une culture donnée.

Fin de croissance de la culture # ... avant fin de croissance de la culture #...!: Deux cultures successives ne peuvent pas se chevaucher dans le temps.

Le nombre de cultures a changé!: La réponse à l'item "nombre de cultures" a été modifiée après la saisie des caractéristiques des cultures. Dans le cas où le nouveau nombre de cultures est supérieur à l'ancien, il faut caractériser la(les) nouvelle(s) culture(s) à la suite des autres. Dans le cas où le nombre de cultures a été diminué, il s'agit de cliquer "caractéristiques des cultures" et de cliquer OK dans la fenêtre "caractéristiques d'une culture".

Travail du sol avant coupe # ...!: Le travail du sol se produit avant la coupe # ...

Travail du sol avant début de croissance!: Le travail du sol relié à une culture donnée doit avoir lieu après sa fin de croissance.

Travail du sol avant fin de croissance!: Le travail du sol relié à une culture donnée doit avoir lieu après sa fin de croissance.

Travail du sol de la culture # ... avant travail du sol de la culture # ...!: Les travaux de sol ne sont pas en ordre chronologique.

15.2.3 Fichier *.AZO

Le nombre de couches a changé!: La réponse à l'item "nombre de couches" a été modifiée après la saisie des conditions initiales de chacune des couches. Dans le cas où le nouveau nombre de couches est supérieur à l'ancien, il faut caractériser la(les) nouvelle(s) couche(s) à la suite des autres. Dans le cas où le nombre de couches a diminué, il s'agit de cliquer "conditions initiales des couches" et de cliquer OK dans la fenêtre "conditions initiales d'une couche".

15.2.4 Fichier *.FER

Fertilisation # ... avant fertilisation # ...!: Les fertilisations n'ont pas été déclarées en ordre chronologique.

Le nombre de fertilisations a changé!: La réponse à l'item "nombre de fertilisations" a été modifiée après la saisie des paramètres relatifs aux fertilisations. Dans le cas où le nouveau nombre de fertilisations est supérieur à l'ancien, il faut caractériser la(les) nouvelle (s) fertilisation(s) à la suite des autres. Dans le cas où le nombre de fertilisations a diminué, il s'agit de cliquer "caractéristiques des fertilisations" et de cliquer OK dans la fenêtre "caractéristiques d'une fertilisation".

15.2.5 Fichier *.SIM

Fin de simulation avant début de simulation!: L'année de fin de simulation est antérieure à l'année de début de simulation.

L'option fertilisants requière l'option azote!: L'option fertilisant a été cochée alors que l'option azote est inactivée. L'ajout de fertilisant ne peut être inclus si les transformations de l'azote ne sont pas simulées.

15.3 Exécution

Ces erreurs peuvent survenir au moment de l'exécution.

Début des cultures avant début de simulation!: Le début de croissance de la première culture (fichier *.CLT) a lieu avant le début de la simulation (fichier *.SIM).

Début de fertilisation avant début de simulation!: La date de la première fertilisation a lieu (fichier *.FER) avant le début de la simulation (fichier *.SIM).

Fin de simulation avant fin des cultures!: La fin de la simulation (fichier *.SIM) se produit avant la fin de la dernière culture (fichier *.CLT). L'utilisateur peut choisir d'effectuer quand même la simulation mais une (ou plusieurs) culture(s) ne seront pas incluse(s) dans le scénario.

Fin de simulation avant fin des fertilisations!: La fin de la simulation (fichier *.SIM) se produit avant la date de la dernière fertilisation (fichier *.FER). L'utilisateur peut choisir d'effectuer quand même la simulation mais une (ou plusieurs) fertilisations ne seront pas incluse(s) dans le scénario.

Le fichier concernant le sol n'a pas été choisi!
Le fichier concernant le climat n'a pas été choisi!
Le fichier concernant le cycle de l'azote n'a pas été choisi!
Le fichier concernant les cultures n'a pas été choisi!
Le fichier concernant les fertilisations n'a pas été choisi!: Un des fichiers nécessaires à l'exécution de la simulation n'a pas été déclaré ou sélectionné parmi la liste fournie.

Le fichier de simulation n'existe pas!: Le fichier *.SIM n'a pas été choisi ou est vide.

Les fichiers SOL et AZOTE ne sont pas cohérents!: Le nombre de couches dans les fichier *.SOL et *.AZO ne concordent pas.

15.4 Résultats

15.4.1 Accumulation

Le fichier source pour l'accumulation n'existe pas!: Le fichier que l'utilisateur cherche à accumuler n'est pas un fichier existant ou est vide.

15.4.2 Concentration

Le fichier de flux d'eau n'existe pas!
Le fichier de flux de nitrates n'existe pas!: Un des deux fichiers nécessaires à la création d'un fichier concentration n'existe pas ou est vide.

Les extensions sont incohérentes!: Les fichiers sélectionnés pour créer un fichier concentration ne sont pas cohérents au niveau des flux considérés (ex.: fichier lessivage de l'eau (*.LEE) et fichier drainage des nitrates (*.DRN).

15.4.3 Visualisation

Nom du fichier à imprimer (ou visualiser). Erreur dans le choix du fichier!: Le fichier que l'utilisateur désire visualiser n'existe pas ou est vide.

16. INDEX

FICHIER FERTILISATION:______________ .FER

Site:

	F1	F2	F3	F4	F5
Date d'épandage					
Type de fertilisation					
Profondeur d'application (m)	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:
Volume d'eau apporté (m^3/ha)	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:
Contenu en litière (kg N/ha)	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:
Contenu en fèces (kg N/ha)	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:
Rapport C/N de la litière	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:
Rapport C/N des fèces	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:
Contenu en N-NH_4^+ (kg N/ha)	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:
Contenu en N-NO_3^- (kg N/ha)	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:
Constante de dissolution (1/jour)	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:	l: p:

FICHIER CULTURES: _______________.CLT
Site:

	VALEUR	COMMENTAIRES
Date de début de croissance		
Date de fin de croissance		
Type de culture		
Nombre de coupes		
Travail du sol		
Date de travail du sol		
Profondeur de travail du sol (m)	loi:	
	par:	
Besoin en eau (m)	loi:	
	par:	
Besoin en azote (kg N/ha)	loi:	
	par:	
Fraction de l'azote récolté	loi:	
	par:	
Fraction de l'azote résiduel	loi:	
	par:	
Rapport C/N des résidus de récolte	loi:	
	par:	
Rapport C/N des racines	loi:	
	par:	
Profondeur des racines à maturité (m)	loi:	
	par:	
Patron racinaire		
Date de coupe		

FICHIER AZOTE:______________.AZO (...suite...)

Site:

	C1	C2	C3	C4	C5
Contenu en C-litière (kg C/ha)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Contenu en N-litière (kg C/ha)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Contenu en C-fèces (kg C/ha)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Contenu en N-fèces (kg N/ha)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Contenu en N-humus (kg N/ha)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Contenu en N-NH_4^+ (kg N/ha)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Contenu en N-NO_3^- (kg N/ha)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:

FICHIER AZOTE:________________.AZO (...suite...)

Site:

	VALEUR	**COMMENTAIRES**
Rapport NO3/NH4 du sol	loi: par:	
Constante de nitrification (1/jour)	loi: par:	
Constante de demi-saturation pour la dénitrification (mg N/j)	loi: par:	
Constante de dénitrification ($g\ N \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$)	loi: par:	
Profondeur de dénitrification (m)	loi: par:	
Patron de dénitrification		

FICHIER AZOTE:_______________.AZO

Site:

	VALEUR	COMMENTAIRES
Nombre de couches		
Constante de dégradation de la litière (1/jour)	loi: par:	
Constante de dégradation des fèces (1/jour)	loi: par:	
Efficacité de la synthèse microbienne de la litière	loi: par:	
Efficacité de la synthèse microbienne des fèces	loi: par:	
Fraction de la litière passant à l'humus	loi: par:	
Fraction des fèces passant à l'humus	loi: par:	
Rapport C/N du sol	loi: par:	
Constante de minéralisation de l'humus (1/jour)	loi: par:	
Fraction de l'azote inorganique disponible	loi: par:	

FICHIER SOL: ________________.SOL (...suite...)

Site:

	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
Épaisseur (m)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Ksat (m/j)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Porosité (m^3/m^3)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Cap. champ (m^3/m^3)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
Point flét. (m^3/m^3)	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
% sable	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
% limon	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:
% argile	l:	l:	l:	l:	l:
	p:	p:	p:	p:	p:

FICHIER SOL: ________________.SOL

Site:

	VALEUR	COMMENTAIRES
Nombre de couches		
Niveau imperméable sous la nappe?		
Drains dans le profil?		
Pente du sol (%)	loi:	
	par:	
Profondeur maximale d'évaporation (m)	loi:	
	par:	
Espacement des drains (m)	loi:	
	par:	
# couche au-dessus des drains		
# couche en dessous des drains		

FICHIER CLIMAT: _______________.CLI

Site:

	VALEUR	COMMENTAIRES
Nombre de jours de précipitations		
Jour où la température est la plus basse		
Fraction de neige au sol au début de la fonte	loi:	
	par:	
Taux de fonte ($m \cdot °C^{-1} \cdot jour^{-1}$)	loi:	
	par:	

	Précipitations (m)	Températures (°C)	Évaporations (m)
Janvier			
Février			
Mars			
Avril			
Mai			
Juin			
Juillet			
Août			
Septembre			
Octobre			
Novembre			
Décembre			

FICHIER SIMULATION: _______________.SIM

Site:

	VALEUR	COMMENTAIRES
Nombre de simulations		
Date de début de simulation		
Date de fin de simulation		
Jour pour l'état des réservoirs		
Option - Cultures		
Option - Azote		
Option - Fertilisants		
Option - Pesticides		